10

Alicia R. W. de Camilloni

Compiladora

Didáctica general

Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza

BIBLIOTECA de EDUCACIÓN

gedisa editorial

Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza

Alicia R. W. de Camilloni
Compiladora

Serie dirigida por
Alicia R. W. de Camilloni

Didáctica general

BIBLIOTECA de EDUCACIÓN

BIBLIOTECA de EDUCACIÓN

Serie didáctica general

Duckworth, Eleanor — ***Cuando surgen ideas maravillosas***
Y otros ensayos sobre la enseñanza y el aprendizaje

Bateman, Walter L. — ***Alumnos curiosos***
Preguntas para aprender y preguntas para enseñar

Manning, Maryann; Manning, Gary y Long, Roberta — ***Inmersión temática***
El currículo basado en la indagación para los primeros años y años intermedios de la escuela elemental

Whitin, Phyllis y Whitin, David J. — ***Indagar junto a la ventana***
Cómo estimular la curiosidad de los alumnos

Shagoury Hubbard, R. y Miller Power, B. — ***El arte de la indagación en el aula***
Manual para docentes-investigadores

Brubacher, John W.; Case, Charles W y Reagan, Timothy G. — ***Cómo ser un docente reflexivo***
Hacia una cultura de la indagación en la escuela

Langer, Ellen — ***El poder del aprendizaje consciente***

Short, Kathy G. y otros — ***El aprendizaje a través de la indagación***
Docentes y alumnos diseñan juntos el currículo

Martinello, M. y Cook, G — ***Indagación interdisciplinaria en la enseñanza y el aprendizaje***

Joyce, Bruce, Weil, Marsha y Calhoum, Emily — ***Modelos de enseñanza***
(próxima aparición)

Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza

Alicia R. W. de Camilloni

Compiladora

gedisa
editorial

Selección de artículos publicados en los números 24 y 25 de la revista *Aster*:

Guy Rumelhard: "Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques"
Michel Fabre y Christian Orange: "Construction des problèmes et franchissements d'obstacles"
Jack Guichard y Françoise Guichard: "Des objets muséologiques pour aider à traiter des obstacles en sciences et techniques".
Brigitte Peterfalvi: "L'identification d'obstacles par les élèves"
Marie-Louise Zimmermann-Asta: "La perturbation conceptuelle: outil pour dépasser les obstacles"
Jean-Pierre Astolfi y Brigitte Peterfalvi: "Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts"

Traducción: Alcira Bixio

Diseño de cubierta: Sebastián Puiggrós

Primera edición, Barcelona

Paseo Bonanova, 9 1º-1ª
08022 Barcelona, España
Tel. 93 253 09 04
Fax 93 253 09 05
Correo electrónico: gedisa@gedisa.com
http://www.gedisa.com

ISBN: 84–7432–855-1
Depósito legal: B. 43844-2001

Impreso por: Carvigraf
Cot 31, Ripollet

Impreso en España
Printed in Spain

Índice

Prólogo

Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza

Alicia R. W. de Camilloni

Ustedes dicen que es necesario conocer al niño para enseñarle, pero esto no es verdad. Yo diría más bien que es necesario enseñarle para conocerlo.
(Alain, *Propos sur l'éducation*)

Frecuentemente me ha chocado el hecho de que los profesores de ciencias aun más que los otros si cabe, no comprendan que no se comprenda.
(Bachelard, *La formación del espíritu científico*)

El conjunto de trabajos que integran este libro tiene como eje el estudio y tratamiento pedagógico de los obstáculos epistemológicos que se presentan en los alumnos en el proceso de aprendizaje de las ciencias.

Entre los conceptos básicos que Jean Claude Astolfi y Michel Develay seleccionan en su desarrollo de *La didactique des sciences*, se destaca en primer lugar el concepto de *representación:*

> El concepto utilizado en Didáctica de las ciencias cuyo éxito ha sido el más espectacular en el curso de los últimos diez años es, seguramente el de representación. (1993: 31)

En la enseñanza de las ciencias naturales se trabaja en la construcción de las representaciones del mundo que tienen los

alumnos. Tarea ardua porque implica resolver un conjunto de cuestiones tales como: ¿cuáles son las representaciones que nuestros alumnos tienen y que la sociedad enseña acerca del mundo y que se han convertido en representaciones sociales o personales que es necesario suplantar o transformar para que el conocimiento científico pueda ser construido, resulte duradero y sea realmente aceptado y creído por el alumno?, ¿cómo realizar esta tarea?, ¿son insuperables los obstáculos epistemológicos y pedagógicos?

El concepto de "obstáculo epistemológico" en la teoría de Bachelard

El concepto de "obstáculo epistemológico" ocupa un lugar predominante en la teoría de Gaston Bachelard (1884-1962). Su teoría del conocimiento científico y el concepto de obstáculo epistemológico han tenido una fuerte impronta en el campo de la filosofía de las ciencias y en la pedagogía.

El conocimiento es concebido por Bachelard como producto de una actividad del sujeto y no consiste en una simple reproducción del mundo de las cosas. El sujeto es, en consecuencia, un constructor de su conocimiento. De allí nace su preocupación por determinar cuáles son las condiciones que favorecen la conformación de un espíritu constructor de conocimiento científico. Entre esas condiciones, se interesa muy particularmente por la educación procurando definir qué tipo de educación científica es la más conveniente a ese fin.

En su obra fundamental, *La formación del espíritu científico*, la primera afirmación de Bachelard, con la que comienza, se refiere, precisamente, al tema de los obstáculos epistemológicos:

> Cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de la ciencia, se llega muy pronto a la convicción de que *hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos.*

Se trata, pues, de una noción central en el pensamiento bachelardiano ya que el autor la considera esencial en el acto de conocer y, en consecuencia, indispensable para desentrañar la

naturaleza de los procesos que caracterizan tanto la historia del conocimiento de la humanidad cuanto la historia de la conquista del conocimiento en cada ser humano. Sólo mediante el empleo de esta herramienta conceptual es posible comprender las causas de las dificultades, de los estancamientos y, aun, de los retrocesos en los procesos de construcción del conocimiento científico.

Bachelard opone esta noción a la idea, corriente a fines del siglo XIX, de que existe una unidad de la experiencia, del conocimiento de lo real. Esta idea se encontraba en los empiristas porque afirmaban que todo conocimiento viene de la sensación, y en los idealistas porque sostenían que la experiencia es impermeable a la razón. En ambas teorías, aunque por diferentes razones, se consideraba que la ciencia se construía como un todo homogéneo: La ciencia y la filosofía hablaban el mismo lenguaje y el conocimiento científico y el sentido común también. "La ciencia se ofrecía como un conocimiento homogéneo, como la ciencia de nuestro propio mundo, en el contacto con la vida cotidiana, organizado por una razón universal y estable, con la aceptación final de nuestro interés común" (1971: 9). La influencia significativa del positivismo en el campo de las ciencias naturales acentuó uno de los polos de esta concepción. Las dimensiones cuantitativas primaron como fundamento y prueba y también sirvieron para acentuar la continuidad entre el conocimiento común y el conocimiento científico. La aritmética era la misma para el pensamiento común y para el conocimiento científico, la medición no se discutía. Se trataba de pensar, medir y contar y de desconfiar de lo abstracto. Había que atenerse a lo concreto. La observación natural de lo natural proveía los datos para el conocimiento.

Este principio era fundante para el científico que construía el nuevo conocimiento y para el docente que debía orientar el aprendizaje de ese conocimiento. "Ver para comprender era el principio ideal de esta extraña pedagogía" escribe Bachelard, (1971: 10) y emprende su camino de enfrentamiento ante esa concepción de la ciencia y del hacer pedagógico centrado en lo concreto.

Respecto de las disciplinas científicas, Bachelard registra que durante el primer cuarto del siglo XX ya se habían producido cambios de significación. La física comienza en ese tiempo a hablar de cosas que no forman parte de nuestro pensa-

miento cotidiano —el átomo, por ejemplo— y sus abstracciones teóricas se alejan del sentido común, e incluso lo contradicen. De la importancia de este distanciamiento surge la necesidad de analizar las diferencias entre ambos tipos de pensamiento. Pero es preciso evitar inicialmente posibles confusiones. No se trata de considerar los obstáculos epistemológicos que dificultan el pasaje de una a otra forma de conocimiento como la expresión de obstáculos externos generados por la complejidad y fugacidad de los fenómenos. Tampoco se pretende acusar al pensamiento común de ser defectuoso debido a la debilidad de los sentidos en particular y del espíritu humano en general, lo cual los haría incapaces de alcanzar un conocimiento verdadero. A fin de identificar los obstáculos es menester estudiar, en cambio, los procesos de conocer y analizarlos íntimamente para hallar, finalmente, que es por una necesidad funcional que se presentan lentitudes, perturbaciones y regresiones. Se observa así que el obstáculo epistemológico es lo que se sabe y que, como ya se sabe, genera una inercia que dificulta el proceso de construcción de un saber nuevo que es, precisamente, lo que constituye el acto de conocer. Hombre de ciencia y alumno nunca parten de cero conocimiento. Viven en el marco de un horizonte cultural y sus conceptos y teorías son subsidiarios de la cultura de su sociedad. Tienen ya opinión sobre los asuntos de que trata la ciencia antes de ponerse en contacto con ella o, después de aprender una teoría, cuando se enfrentan a una nueva concepción que aparece como alternativa o superadora de la anterior. Cuando se aproximan a la ciencia creen comprender la naturaleza de los fenómenos naturales y de los procesos sociales. "Cuando se presenta ante la cultura científica, el espíritu nunca es joven. Es, incluso, muy viejo porque tiene la edad de los prejuicios" (Bachelard, 1971: 159). Este conocimiento, diverso del conocimiento científico y caracterizado como opinión, por su naturaleza y el modo en que ha sido construido, permite lograr, en la mayoría de las circunstancias, una adecuada adaptación a la satisfacción de las necesidades del sujeto porque este funda los conocimientos en su utilidad. Conocimiento vulgar, creencia u opinión, en su origen se encuentran diversos componentes de naturaleza social e individual: deseos, búsqueda de seguridad, experiencias personales, mitos. De allí la resistencia a desprenderse de esos conocimientos y a reempla-

zarlos por otros. "Frente a lo real, lo que cree saberse ofusca lo que debiera saberse" (1948: 16). Por ello, "el conocimiento científico nos prohibe tener opiniones sobre cosas que no conocemos bien, sobre cuestiones que no sabemos formular claramente" (1971: 159).

Bachelard se instala en la necesidad de la ruptura con el sentido común. El enemigo del conocimiento científico es la opinión. La opinión piensa mal porque no piensa, escribe. Es el primer obstáculo que hay que eliminar. Es este, sin duda, un trayecto difícil de recorrer e, incluso, doloroso porque implica la pérdida de lo que se sabe, ya que hay que retornar de un pasado de errores. Proceso que Bachelard califica como de "verdadero arrepentimiento intelectual".

Epistemólogo, poeta, físico, profesor de física y preocupado por la enseñanza de las ciencias, Bachelard enumera una serie de obstáculos pedagógicos que docentes y alumnos deben aprender a salvar. ¿Arrepentimiento ante la culpa? No, ya que nada más lejos del espíritu de este autor que culpabilizar a los actores de las acciones de enseñar y aprender: "No se puede hacer de un golpe tabla rasa con los conocimientos anteriores" (1971: 159). Trance difícil, sin embargo, para los alumnos y también para los científicos. Para estos últimos, observa el autor, llega un momento de la vida en el que el espíritu prefiere lo que confirma su saber a lo que lo contradice, en el que prefieren las respuestas a las preguntas" (1948: 17). Pero para aprender las ciencias hay que colocar al espíritu en estado de movilización permanente. No aceptar nada dándolo por sentado. Cuando la pregunta se gasta y queda solamente la respuesta, el obstáculo epistemológico "se incrusta" sobre el conocimiento que ya no se cuestiona. Se convierte, así, en un contrapensamiento, en un obstáculo epistemológico. Aunque lo haya tenido previamente, pierde su carácter científico. Así es como en la historia de la ciencia lo que pudo ser un logro científico en un momento puede convertirse más tarde en un obstáculo. Para que esté en condiciones de recuperar su cientificidad, es necesario que hombre de ciencia o alumno acepten que ese saber pase de ser cerrado y estático a ser abierto y dinámico, es decir, que el saber se piense como pasible de cambios. Es este un camino que ha de recorrerse durante toda la vida. "No hay ciencia sino mediante una escuela permanente" (1948: 297). El principio de la cultura continuada, con una so-

ciedad pensada para la escuela, es la base de una cultura científica moderna. El espíritu científico debe formarse reformándose, contradiciéndose, contradiciendo al maestro, porque sólo puede amarse, afirma Bachelard, aquello que se destruye.

La educación científica se presenta como una ardua tarea, en la que no es suficiente pensar qué es lo que el alumno debe aprender sino, también, qué y cómo debe desaprender lo que ya sabía. Tarea doblemente dificultosa ya que lo que denomina "paradoja pedagógica" consiste en que "todo lo que es fácil de enseñar es inexacto" (1993: 24). Lo fácil no enseña, "cuanto más difícil es una tarea, tanto más educadora es" (1948: 47).

Bachelard afirma, igualmente, que no hay experiencia sin la formulación previa de un problema. En la enseñanza de la ciencia si no hay problema no hay aprendizaje. Una enseñanza desprovista de problemas desconoce el sentido real del espíritu científico. "Más valdría una ignorancia completa que un conocimiento privado de su principio fundamental" (1948: 48). Este principio consiste en que no hay conocimiento si no es en respuesta a una interrogación de la que el sujeto se ha apropiado o ha creado.

El aprendizaje no se resuelve por la suma de afirmaciones sino que, por el contrario, es el producto de sucesivas negaciones. Como es más simple y cómoda la afirmación que la negación, entre el aprendizaje del conocimiento científico y el conocimiento actual del alumno, Bachelard encuentra que existe un conjunto de obstáculos pedagógicos que ponen en riesgo el aprendizaje y que pueden impedir que se haga efectivo:

> He aquí la tesis filosófica que sostendremos: el espíritu científico debe formarse en contra de la Naturaleza, en contra de lo que es, dentro y fuera de nosotros, impulso y enseñanza de la Naturaleza, en contra del entusiasmo natural, en contra del hecho coloreado y vario. (1948: 27)

La construcción del conocimiento científico se apoya en una teoría de la racionalización discursiva y compleja que tiene en su contra las convicciones básicas, la necesidad de certeza inmediata, la necesidad de partir de lo cierto y la íntima creencia en que efectivamente el conocimiento que se poseía y de donde se ha partido es cierto. De esta manera y reconociendo

que los obstáculos son confusos y polimorfos, Bachelard enumera los siguientes:

La experiencia primera o básica

El conocimiento científico no puede construirse sin crítica. Los datos sensoriales claros y netos oscurecen el conocimiento, porque inducen a pensar que se conocen los objetos tal y como son. Sin embargo, no hay observación libre de teoría. Por tanto el riesgo de lo que parece claro es que impida tomar conciencia de la teoría. Esta puede volverse invisible para el sujeto haciéndose imposible, en consecuencia, someterla a crítica. Pero la teoría, de mayor o menor alcance, sin crítica puede ser errónea. Quien cree conocer el hecho, siempre lo conoce mediado por una interpretación. Respecto de esta última, habría dos situaciones posibles. En la primera, dice Bachelard que "para que un hecho sea definido y precisado es necesario un mínimo de interpretación. Y si esta interpretación mínima corresponde a un error fundamental ¿qué queda del hecho?" (1948: 52). No se conocería el hecho sino una interpretación errónea del hecho. El problema radicaría, pues, en la necesidad de rectificación de la interpretación y no en la necesidad de una nueva o más perfecta observación empírica del hecho. Pero, en una segunda hipótesis, aun suponiendo que la teoría no fuera errónea, si el conocimiento es científico sólo cuando se lo somete a crítica, la que debe ser sometida a revisión es la teoría que sirve de sustento a la interpretación. Esta es la que debe hacerse visible y convertirse en el objeto de estudio. Por otra parte, las cuestiones de que trata la ciencia no se limitan para los alumnos a ser temas que ponen en juego sólo aspectos intelectuales. Frente a los fenómenos interesantes y asombrosos los hombres van naturalmente "con sus deseos, sus pasiones, con toda su alma". En estas condiciones, "no debe pues asombrar que el primer conocimiento objetivo sea un primer error" (*ibid.*, p. 65). A este primer obstáculo, la experiencia primaria o básica, Bachelard suma otros.

La facilidad

"Hay que examinar cuidadosamente todas las seducciones de *la facilidad*" (1948: 66). La búsqueda prematura de afirma-

ciones generales, de leyes, a partir de las denominadas "experiencias cruciales" induce al alumno a pensar que la ciencia se construye de manera concluyente sobre la base de experiencias simples, de manera lineal y simplemente acumulativa. En esta cuestión cabe hacer varias observaciones. Por un lado, "se cometería un grave error si se pensara que el conocimiento empírico puede mantenerse en el plano del conocimiento asertórico, acantonándose en la simple afirmación de los hechos" (1948: 53). Ninguna afirmación en el discurso de las ciencias es definitiva ni está exenta de duda, con excepción de los juicios analíticos o tautológicos. Por otro lado, si la ciencia exige crítica y es un sistema en el que el conocimiento cambia en el transcurso del tiempo, toda aserción debe ser revisada en el contexto de la o las teorías que la sustentan, tarea que necesariamente es difícil y exige una visión de síntesis para una adecuada comprensión y evaluación. Desde un punto de vista metodológico tampoco pueden aceptarse generalizaciones que a un efecto pedagógico se pretenden demostrar a partir de inducciones necesariamente incompletas registradas en tablas de observación natural de ausencia o presencia. En este sentido, Bachelard critica al empirismo clásico y a su afán por construir generalizaciones a partir de lo observado. Pero, al mismo tiempo, su crítica se dirige a la generalización misma. Se ha pretendido colocar como fundamentos de las ciencias las más grandes generalizaciones, por ejemplo, de la mecánica: "todos los cuerpos caen"; de la óptica: "todos los rayos luminosos se propagan en línea recta"; de la biología: "todos los seres vivos son mortales". Estas parecen ser las grandes verdades primarias que iluminan todas las doctrinas. En su momento, estos principios fueron eficaces para reemplazar a otras leyes, pero ya no lo son. Si se usan para clausurar el ciclo de las preguntas, lejos de ser útiles para la ciencia, se convierten en obstáculos. Su empleo pedagógico, en uso hasta cuando la ciencia ya se ha planteado la cuestión en otros términos, inmoviliza el pensamiento. Pero, además, Bachelard señala la importancia de no apresurar la construcción de inferencias. El peligro consiste en que el circuito de los hechos a las ideas sea demasiado corto y no resulte suficiente para el desarrollo de un pensamiento que duda, que niega lo seguro y que busca encontrar nuevos caminos.

La racionalidad simple

La razón cumple la condición psicológica de dirigirse hacia diferentes y variadas direcciones. Una razón única nunca da lugar a una verdadera racionalización. "No es suficiente que se encuentre *una razón* para *un hecho*. (…) Una experiencia, para ser verdaderamente racionalizada, debe pues insertarse en *un juego de razones múltiples*" (1948: 48). La razón quiere invertir los problemas, variarlos, insertar unos en otros, hacerlos proliferar. La simplificación de la racionalidad es un obstáculo porque sólo en apariencia abriría el camino de la comprensión para los estudiantes ya que, de hecho, estaría ocluyendo la apertura necesaria para ese juego múltiple que es condición necesaria del logro de una comprensión profunda. La observación y la inferencia inmediatas son sospechosas. El rápido hallazgo de lo que se piensa cierto no induce a proseguir la indagación sino que la impide. La única razón encontrada simplifica la explicación. Esta empobrece, en consecuencia, el pensamiento.

El interés

"En nuestras clases elementales lo pintoresco y las imágenes producen los mismos estragos" (1948: 46) porque generan en los alumnos lo que Bachelard denomina "interés impuro". "En la enseñanza elemental las experiencias demasiado vivas, con exceso de imágenes, son centros de falso interés" (*ibid.*, p. 47). Distraen al alumno de los fenómenos corrientes, no especialmente llamativos, que deberían estudiar, comprender y explicar, y lo asombran, como las explosiones en el laboratorio de química, que parecen adquirir valor por sí mismas, por el ruido y la impresión que causan y no por la necesidad de comprender las razones y la explicación de esos procesos. Al valor negativo que asigna al interés de este rango, producto de la atracción por lo pintoresco, añade Bachelard su rechazo al interés entendido como búsqueda de la utilidad. Sostiene que este puede conducir a generalizaciones exageradas, y llevar al sujeto, casi infaliblemente, demasiado lejos. Se trataría de un pensamiento pragmático y el pragmatismo, que es, a su juicio, "un pensamiento mutilado", lleva fatalmente a la exageración. Porque "el hombre no sabe limitar lo útil". Ocurre esto ya que

la utilidad se convierte en una razón, en un principio de explicación, y da lugar con frecuencia a explicaciones finalistas, sin valor científico. Lo que es verdadero, sostiene Bachelard, lo es no porque sea útil, sino porque es verdadero.

Las imágenes y las palabras

Una imagen, una analogía, una metáfora se pueden emplear tanto como explicaciones científicas cuanto como recursos didácticos para facilitar en los alumnos la comprensión y la explicación de procesos naturales y sociales. Estamos habituados a las explicaciones de la estructura del psiquismo en términos de sistemas hidráulicos, a las analogías entre los procesos de aprendizaje y los procesos biológicos, a la instalación de metáforas económicas cuando se trata de cuestiones pedagógicas. Las palabras invaden el campo de las ciencias, la ciencia se expresa en palabras y los conceptos de un campo remiten a los significados de los términos que se han construido en otras redes semánticas. Pero no conservan su carácter extranjero sino que, por el contrario, dan lugar a la construcción de teorías y heredan el prestigio científico del campo de donde provienen. Bachelard analiza algunos de estos procesos en la historia de la ciencia y advierte su peligrosidad, así como el riesgo de utilizar imágenes y metáforas para hacer más simple la comprensión de la ciencia por los alumnos. "Una ciencia que acepta las imágenes es, más que cualquier otra, víctima de las metáforas. Por eso el espíritu científico debe incesantemente luchar en contra de las imágenes, en contra de las analogías, en contra de las metáforas" (*ibid.*, p. 45). Es menester aplicarse para trabajar sobre las intuiciones básicas que son obstáculos para el pensamiento científico. "Sólo una ilustración que trabaje más allá del concepto, añadiendo un poco de color sobre los rasgos esenciales, puede ayudar al pensamiento científico" (1948: 93); las palabras mismas son también peligrosas. "¡En una misma época, bajo una misma palabra, hay conceptos tan diferentes! Lo que nos engaña es que la misma palabra designa y explica al mismo tiempo" (*ibid.*, p. 20). La palabra, en consecuencia, es puente y barrera para la comunicación, un obstáculo que, con frecuencia, hay que salvar.

El enseñante y el libro

Enseñante y libro se comunican con palabras, imágenes, metáforas. El maestro y el libro mandan. "Quien enseña manda" (1948: 21). "El libro manda" (*ibid*. p. 29) No dudan ni el maestro ni el autor del libro. Ellos plantean las preguntas. Explican. Formulan los problemas. Saben, ya saben, antes que el alumno lo haya aprendido y, por lo tanto, tienen todas las respuestas. Bachelard mantiene una postura crítica ante el papel de los educadores. También es crítico respecto del papel del libro de texto. Este se ha deslizado como un discurso prolijo y claro entre la naturaleza que se ha de conocer y el alumno. Con orientaciones diferentes según las épocas, el libro destruye, en buena medida, el carácter problemático de la ciencia. Este también es, por lo tanto, un obstáculo pues "el sentido del problema es característico del espíritu científico" (1948: 52). Y si bien el enseñante de ciencias no debería dar las respuestas antes de que se aclare la pregunta para el alumno, acostumbra hacerlo y, por medio de ese acto, consolida los obstáculos que debería derribar. Un proceso psicológico difícil de evitar ya que no sólo es propio, diría Bachelard, de "los instintos" del docente sino que también los alumnos se pliegan cómodamente a este "saber más" del enseñante y esperan de él no sólo el saber de la respuesta sino también el saber de la pregunta. Georges Jean en su bello libro *Bachelard, la infancia y la pedagogía* (p.161), recuerda una apreciación que hace Bachelard en su obra *Lautréamont*: "¿Existe ironía más fija, más rápida, más paralizadora que la ironía del profesor de matemática?". Es una ironía que constituye una afirmación sobre el presente del alumno y una profecía acerca de su futuro. Afirmación con pretensión de exactitud, analógica a la de la matemática. Obstáculo para el deseo de conocer y para el acto de conocer.

Georges Jean enumera los obstáculos pedagógicos que surgen de la obra de Bachelard. Son ellos: el maestro que pretende saber, el dato inmediato, lo demasiado interesante, los sentidos, la experiencia inmediata, la simplicidad y la claridad, la ciencia enseñada y los manuales, el haber sabido, las imágenes muertas, el lenguaje ya aprendido, los padres y los maestros como modelos, una educación "muelle", una sociedad donde no hay nada que hacer y, también, uno mismo.

Creer en lo aprendido

Ha sido una presunción corriente que ante una información recibida sobre cualquier dominio de que se trate, los sujetos habrán de adoptar una actitud de aceptación o de rechazo y que esta se traducirá en que los sujetos la creerán o no la creerán, siendo una actitud excluyente de la otra. Esta "teoría binaria de la creencia", revisada a la luz de algunas teorías epistemológicas y de las investigaciones en ciencias cognitivas, ha sido puesta en cuestión por la "teoría de las probabilidades subjetivas o personales" (Goldman, 1986: 324). Según esta última, los grados de aceptación podrían ser ubicados en una escala de variados niveles de apropiación de las ideas contenidas en la proposición, con grados intermedios entre la máxima aceptación y el total rechazo. Las teorías de las probabilidades subjetivas sostienen que los sujetos efectúan un cálculo de probabilidades para determinar su nivel de aceptación. Sin embargo, "la evidencia empírica es contraria a la idea de que la gente conforma sus creencias a un cálculo de probabilidades" (*ibíd.*, p. 326). La utilización de un ajustado cálculo de este tipo podría ser discutido a la luz de los trabajos sobre heurísticos de representatividad y probabilidad de Tversky y Kahneman (1973), por ejemplo, ya que demuestran que, con mucha frecuencia, las personas llegan a conclusiones sobre la base de razonamientos que violan las leyes de la probabilidad. Massimo Piatelli-Palmarini (1995: 135-136), por ejemplo, sostiene que "la efectivización de un tipo de suceso o de situación, es juzgada por nosotros tanto más frecuente cuanto más fácil sea imaginarlos mentalmente, y cuanto más nos impresionan emocionalmente". Este autor sugiere que una ley general aplicable a esta cuestión podría ser la siguiente: "una intuición probabilística cualquiera, sobre cualquier tema (no específicamente educado en el cálculo de probabilidades) tiene más del 50% de probabilidad de ser errada" (*ibíd.*, p. 139). Alvin I. Goldman, sin acordar con conclusiones que nieguen la racionalidad de la mente humana en virtud de estos hallazgos, entiende que las teorías de las probabilidades subjetivas no tienen sustento pues, aunque indicarían un ideal, no son realizables por los seres humanos, y que es menester acudir a otro tipo de interpretación descriptiva acerca de cómo se construye y determina el nivel de la

aceptación o creencia del sujeto. "Una persona puede tener probabilidades subjetivas respecto de proposiciones de probabilidades objetivas" (Goldman, 1986: 312). La mayor o menor aceptación no sería ajena a la influencia de las consecuencias que el sujeto percibe que tendrían para él. Goldman acuerda con el enfoque bayesiano de que los deseos y los temores *infectan* la elección relacionada con las opiniones (1986: 343). Señala, sin embargo, que es necesario ampliar el alcance de las investigaciones psicológicas en este campo. Los mecanismos que se ponen en operación son susceptibles de ser enseñados y, dado que es posible diferenciar procesos inferiores y superiores, es necesario promover lo mejor en reemplazo de lo peor. "Un desafío que se extiende, entonces, a la teoría de la educación —afirma Goldman— es inventar las técnicas para lograr ese fin." (p. 380)

Cuando se trata de juicios analíticos o tautologías, se pueden encontrar niveles de máxima aceptación en las personas. Pero también existen proposiciones contingentes, en las que los sujetos creen sin presentar dudas ni reservas y que se refieren a hechos conocidos empíricamente tales como el número de su teléfono o si ha llovido o no el día anterior. Esta máxima convicción puede ser conferida, también, a proposiciones que contienen información proveniente de fuentes reconocidas como autorizadas, esto es, como autoridades en la materia. Pero no todas las proposiciones reciben ese alto y perfecto nivel de aceptación. Los sujetos no sólo afirman, corrientemente, que "creen" que sucederá algo, lo cual indica que suponen sin tener seguridad de que ese algo ocurrirá, sino que expresan sus dudas, sus sospechas, su vacilación, su mayor o menor seguridad acerca de que creen que son verdaderas o aceptables las informaciones que reciben o las ideas que ellos mismos producen. Así como Daniel Kayser adopta la noción de "comprensión de profundidad variable" (1992: 216-217) para referirse al fenómeno de asociación a un mismo enunciado de una pluralidad de interpretaciones, sólo parcialmente compatibles, con diferentes grados de profundidad, podemos encontrar el paralelo de la variabilidad de profundidad de la comprensión en la noción de "aceptación de profundidad variable", que con frecuencia presenta una pluralidad de creencias simultáneas, de diferente signo, también parcialmente compatibles e, incluso, hasta incompatibles.

Los diversos niveles de aceptación estarían relacionados con la confianza que el sujeto deposita en la fuente de la afirmación, las consecuencias deseables, indiferentes o indeseables que percibe como implicadas en la aceptación o el rechazo, y con la adaptabilidad de las nuevas nociones a las teorías y conceptos previos de aquel. Como la adaptación opera naturalmente si no hay una operación que actúe en contrario, de ella se derivan muchos de los distanciamientos abstractivos o distorsivos de las representaciones de los contenidos que son materia de enseñanza escolar.

Los modelos mentales en la construcción de representaciones

Señalan P. N. Johnson Laird (1989) y Ruth Byrne (1991) que la idea contemporánea de "modelo mental" proviene de Kenneth Craik, quien en 1943 sostuvo que la gente traslada las situaciones externas al interior de un modelo interno o simulación del mundo, mediante una manipulación de las representaciones simbólicas. Las personas pueden trasladar los símbolos resultantes a acciones o reconocer la correspondencia entre ellos y los hechos del mundo externo. El modelo mental era una representación dinámica o simulación del mundo. La noción de modelo mental fue muy fértil y dio lugar a numerosas investigaciones en el campo de la ciencias cognitivas.

La importancia de los "modelos mentales" en la percepción, la construcción y comprensión del discurso, el razonamiento y la representación del conocimiento es analizada por Johnson-Laird (1989: 469-499). En lo que respecta a la percepción, observa que ella es la primera fuente de las representaciones mentales. En el curso de la evolución se produjeron seres complicados con sistemas nerviosos capaces de detectar energía de objetos distantes y de elaborar la información sensorial construyendo representaciones internas que pueden codificar rasgos no superficiales del mundo. La visión humana, dice David Marr (1982), depende de la construcción de series de representaciones simbólicas que culminan en un modelo tridimensional de las relaciones espaciales entre los objetos. "Este modelo hace explícito *qué* es *dónde* para nuestro proceso consciente de producción de juicios y nos capacita, por lo tanto,

para la navegación de nuestro trayecto a través del mundo evitando obstáculos y azares" (Johnson-Laird, 1989: 470). Las representaciones integran información proveniente de todos los sentidos. Nos parece que percibimos el mundo directamente —afirma Johnson-Laird— pero esto es una ilusión, porque lo que percibimos depende de lo que está en el mundo y lo que está en nuestra cabeza.

Si bien la localización corporal de las representaciones que presenta Johnson-Laird está también asociada a una representación particular del cerebro y su relación con la mente, subsidiaria a su vez de un modelo mental muy arraigado y hoy discutido, su conclusión acerca de la relación entre modelos mentales y percepción es muy poderosa: "Los límites de nuestros modelos son los límites de nuestro mundo" (1989: 471).

En el mismo sentido, en lo que respecta a la comprensión y la construcción de discursos, Johnson-Laird se apoya en el aforismo de Wittgenstein: "La proposición es un modelo de la realidad como la imaginamos", lo cual significa que el modelo hace explícita una estructura que corresponde no a la que tiene la oración sino a la que percibimos o imaginamos del mundo. Así, pues, como Wittgenstein "toma como punto de partida la idea de que representar es, de alguna manera, modelizar" (Rabossi, 1990: 12), las representaciones, según Johnson-Laird (1989: 475), permiten dar cuenta no sólo de una dimensión descriptiva de lo representado sino que también constituyen un principio de explicación. De ahí que "el discurso sea juzgado verdadero si hay por lo menos un modelo de él que puede ser encajado en un modelo del mundo real". En los procesos de razonamiento la intervención de modelos mentales es muy compleja porque existen una variedad de modelos disponibles en cada caso y hay que determinar cuál es el mecanismo de selección al que se recurre. La intervención de modelos mentales ha sido investigada según lo refiere Johnson-Laird en múltiples y variados dominios de las representaciones: el movimiento de objetos, los circuitos eléctricos, los sistemas de propulsión, el diagnóstico médico, la navegación y los sistemas de computación, entre otros. Los hallazgos muestran que si bien difieren los contenidos de las representaciones, no hay evidencia que sugiera que difieren respecto de su formato o en lo relativo a los procesos seguidos en su construcción y en su manipulación. En la percepción y en el pensamiento intervienen mode-

los que son producto, a su turno, de percepciones, experiencia interna e interacción social. (*ibid.*, p. 489).

¿Cómo explicar, en consecuencia, los "fallos" en la representación? ¿Todas las representaciones serían igualmente aceptables en lo que respecta a su validez? ¿Es posible hablar de representaciones "falsas"?

Nos encontramos ante procesos que son siempre, y en todas las edades del hombre, altamente complejos.

En tanto las representaciones del mundo no son autorreferenciales, su pertenencia a un dominio del conocimiento reclama su aceptación por la comunidad que es la que valida los conocimientos. En el caso del conocimiento científico, son las comunidades disciplinares las que hacen jugar su autoridad. La intersubjetividad y la coherencia cultural son principios básicos de validación.

¿Cómo y por qué se produce la representación "equivocada"? "Un sistema con ese nivel de complejidad, que tiene no sólo múltiples canales de acceso a lo que necesita conocer sino también los recursos para expandir los recursos para captar información, posee, me permito decir, —afirma Fred Dretske (1995)— un genuino poder de fallos en la representación". La posibilidad de la representación equivocada es parte intrínseca y natural del proceso de construcción de significados. Un problema que deben enfrentar no sólo los alumnos en el curso de su aprendizaje sino también los docentes respecto de sus propias representaciones acerca del mundo.

El conocimiento y el sentido común

La relación entre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano o del sentido común es una cuestión central en la obra de Bachelard. Se trata de un problema de gran interés para la pedagogía dado que implica dar un principio de respuesta a la doble cuestión de cómo se encara en la escuela el conocimiento adquirido previamente por el alumno en su vida cotidiana e, igualmente, cómo se traslada luego el conocimiento escolar a la vida cotidiana del alumno.

Bachelard se enfrenta a los que llama "continuistas de la cultura" porque creen en la continuidad entre el conocimiento común y el conocimiento científico. Se proponen, en conse-

cuencia, mantener y reforzar el sentido común. Y de él extraer lentamente, suavemente, los rudimentos del saber científico (1971: 188 ss.). Les repugna violentar el sentido común. Pero Bachelard cree en la discontinuidad. Y la afirma intensamente: "Una experiencia científica es, pues, una experiencia que contradice el sentido común" (1948: 14) "Se conoce en contra de un conocimiento anterior" (*ibid.*, p. 15).

La cuestión planteada es ciertamente difícil ya que demanda e implica las respuestas a una gama variada de preguntas de carácter más general, relacionadas con el tema central de cómo se construye el conocimiento. Algunas de esas preguntas versan sobre cómo conocer las prenociones de los alumnos, cómo han de tratarse sus opiniones y creencias y cómo se ha de enseñar para que el conocimiento aprendido en la escuela se transfiera hacia la vida cotidiana, suplante efectivamente al conocimiento común y no se limite a coexistir con él.

El asunto al que nos abocamos es, en consecuencia, subsidiario de un tema que ha sido objeto de permanente preocupación para filósofos de la educación, pedagogos y didactas: ¿Cómo establecer un vínculo profundo entre lo enseñado en la escuela y el conocimiento en uso en la vida cotidiana?

La escuela y la vida cotidiana mantienen una relación distanciada. Las funciones que se espera que ambas cumplan en los aspectos cognitivos y sociales son percibidas por enseñantes y alumnos como diferentes: el aula es el lugar de la preparación, en tanto que la casa es el lugar de la acción real y efectiva. La escuela es un ambiente artificial creado para facilitar aprendizajes que no se realizarían de manera natural y espontánea.

Los dos espacios son, entonces, lugares diferenciados claramente. Y los tiempos vividos en uno y en otro, aunque puedan llegar a establecer una referencia mutua, se definen por sus diferencias objetivas y subjetivas y no por su homogeneidad. Nadie, ni los docentes ni los alumnos, confundirían la escuela con la casa o la casa con la escuela o, en otros términos, la "vida cotidiana" con la escuela y la escuela con la "vida cotidiana".

Encontramos en Guy Claxton (1994) un ejemplo de esta posición. Claxton se refiere a la prescripción efectuada por algunos autores acerca de que "la enseñanza de la ciencia se podría planificar para potenciar la capacidad de los jóvenes para resolver problemas de la vida real". Hemos descubierto, dice,

que este propósito, en un contexto como el actual es casi imposible de alcanzar. En primer lugar, porque no sabemos bien qué es lo que queremos potenciar pero también porque "el contexto global de la escuela difiere en tantos aspectos de los contextos informales de la vida diaria, que es improbable que algo que podamos lograr en las clases de ciencias vaya a tener mucho impacto en la aptitud natural para el mundo real" (p.77).

De una manera similar, Jean Lave (1991) sostiene que hay una red cultural que tiene como centro el concepto de transferencia y que "refleja suposiciones muy difundidas sobre la base cognitiva de la continuidad entre distintos entornos de la actividad". Sostiene esta autora que un ejemplo de esta idea, con la que no acuerda, "es la creencia extendida de que el 'pensamiento científico' es una medida adecuada con la que evaluar, diagnosticar y prescribir remedios para el 'pensamiento cotidiano' que se observa en los experimentos y en la escuela" (pp. 20-21). La continuidad y homogeneidad de los entornos de aprendizaje y de transferencia es la que permite, según afirma esa teoría, que lo aprendido en la primera se ponga en juego en la segunda. Pero, replica Lave, "el papel central del concepto de transferencia refleja la presuposición funcionalista de la transmisión literal de la cultura que influye en su concepción de la socialización y, más concretamente, la conceptualización de las relaciones entre la escuela y la práctica cotidiana" (p. 24). Según ella, que rechaza la idea de continuidad al igual que Claxton, no hay fácil transferencia entre la escuela y lo cotidiano.

Entendemos, sin embargo, que estas repuestas son hasta cierto punto convencionales en la actualidad, porque advertimos que tienen un alcance sólo parcial cuando dirigimos nuestra mirada a los procesos de transformación que experimentan en nuestro tiempo los dos espacios que estamos considerando: la casa (o la vida cotidiana) y la escuela.

Respecto de esta última, observamos que, aunque enfrentando las dificultades de la puesta en práctica, está cambiando velozmente la concepción del aula, en la medida en que las actividades que se proponen a los alumnos se construyen sobre la base de principios en los que se privilegia la experiencia. La didáctica actual acentúa la importancia de fundamentar en la conceptualización teórica los conocimientos empíricos y de tener en cuenta las expectativas y los grados de conciencia

de los sujetos que aprenden. En estas experiencias de aprendizaje, el pensamiento del alumno no está dominado por las formalizaciones prematuras sino que se admite el pensamiento errante, la duda y el error. La incertidumbre deja de ser una falta para convertirse en un rasgo aceptado como ingrediente del conocimiento. Y estas características del conocimiento se aprenden, precisamente, en el estudio de las ciencias y no sólo de la poesía.

El entorno del aprendizaje también cambia físicamente mediante la introducción de herramientas que antes no formaban parte del paisaje del aula como las calculadoras, la televisión, los grabadores de audio y los ordenadores, los que se agregan a los libros y los cuadernos.

En cuanto a la casa, antes inevitable y frecuentemente encerrada frente a las muchas y variadas solicitaciones de la cultura lejana y externa, hoy está abierta a ellas, y hasta de modo sistemático, gracias a las nuevas tecnologías de la comunicación y la información. Las diferencias entre los entornos de aprendizaje van aminorándose porque en la casa y en otros ambientes informales pueden estar disponibles los mismos recursos que se van introduciendo en las escuelas. Ellos permiten la exposición de todos los moradores del hogar a los más variados aspectos de la cultura, entre los que también se encuentran contenidos procesados a la manera escolar que pueden complementar los aprendizajes escolares, integrándose u oponiéndose a ellos, pero siempre poniéndolos a prueba.

Se plantean, así, de una manera nueva, los dilemas entre el conocimiento cotidiano y el conocimiento científico, entre las ciencias y el sentido común, entre las reglas de juego de la casa y las de la escuela.

Podemos preguntarnos, como lo hacía Henri Lefebvre (1961), si la vida cotidiana es un nivel de la realidad social pero no constituye un círculo cerrado y es en consecuencia, penetrable por otros tipos de pensamiento, o si está enclaustrado y presenta fuertes obstáculos que lo protegen de la invasión de otros niveles, más críticos, de la realidad.

Una característica de la cultura de la modernidad es, precisamente, la concepción de la diferencia entre la alta cultura y la cotidianidad. Según Agnes Heller (1970), la cotidianidad tiene como factor central la alienación. Por este motivo, si se tratara, efectivamente, de niveles diferentes de pensamiento,

aquellos que se caracterizan por su criticidad frente a la vida cotidiana podrían percibirse o pensarse como superiores al pensamiento que le es propio a esta. Por eso se suele aceptar que lo cotidiano pase a ser objeto de programación a través de la manipulación de la publicidad o el mercado, por ejemplo. En ese marco conceptual, una labor esencial consiste en establecer la crítica de la vida cotidiana como movimiento que contribuye a transformar la sociedad. La conciencia crítica de los sujetos es el lugar y la condición de la transformación. La ruptura con las representaciones construidas al calor de la cotidianidad es indispensable.

Lo cotidiano tiene una doble dimensión: es, a la vez, lo personal y lo universal. Operan en él factores homogeneizantes de los aspectos personales, pero también factores de fragmentación y factores de jerarquización. La tendencia a la uniformización, a la fragmentación y la jerarquización se reflejan en las representaciones cotidianas del mundo social y del mundo natural.

Nos preguntamos, entonces, como lo hacía Jean Lave, si se transfiere realmente lo aprendido desde la escuela hacia lo cotidiano. También cabe cuestionarnos si esa transferencia es deseable. O, si las representaciones que satisfacen ya las necesidades de lo cotidiano pueden coexistir con las que la escuela tiene la obligación de enseñar con el único fin de responder a la obligación social de construir el repertorio de conocimientos científicos que servirán de base para aprendizajes ulteriores. Creemos que la transferencia es trabajosa pero posible y, también, que es deseable.

Como Bachelard confiamos en una sabia pedagogía que permita dotar a todos los alumnos de los conocimientos que constituyen un progreso del saber y, por eso, una “promoción del ser”. Los conocimientos que ofrecen las ciencias forman parte fundamental de esos saberes.

Cumplir ese propósito exige, seguramente, penetrar en las concepciones del mundo que tienen alumnos y docentes, reconstruir y transformar sus modelos mentales. Sabemos que la respuesta es realmente difícil, si no se quiere ser inocente o ingenuo, y que la solución al problema no podrá hallarse dejando afuera la consideración del carácter cambiante de los dos ámbitos, el de la escuela y el de los ambientes informales entre los que se encuentra el hogar.

El análisis tampoco puede omitir, por su carácter altamente significativo, la importancia de la heterogeneidad que cada vez es mayor en cuanto a las calidades de los ambientes de aprendizaje y de vida. Las nuevas tecnologías generan condiciones que facilitan la democratización del acceso a la información al tiempo que se crean condiciones sociales que profundizan las diferencias existentes y establecen nuevos cortes en la sociedad que se manifiestan de modo cada vez más abrupto, doloroso y totalizador entre las mejores aulas y las mejores casas, por una parte, y las peores aulas y las peores casas por la otra. La fragmentación de las posibilidades de transferencia efectiva de lo escolar a lo cotidiano es originada por la jerarquización que se establece entre ambos tipos de condición y pensamiento. En las primeras, las mejores aulas y casas, la transferencia del aprecio por el nuevo conocimiento está facilitada por la similaridad de los ambientes y de los valores de la cultura que se expresan en currículos y textos. En las peores casas y aulas, el nuevo conocimiento difícilmente pueda superar los obstáculos culturales.

Cuando los significados son portados de uno a otro medio, pueden o transformarse o hacerse más resistentes al cambio. El espacio cultural es determinante del contenido que se construye porque todos los aprendizajes son contextuales. Las representaciones están mediadas por el contexto en que fueron construidas y los contextos lo están por las representaciones. En consecuencia, la didáctica de las ciencias tiene el propósito de contribuir a revertir la paradoja escolar del efecto Mateo: *quien más tiene más tendrá y quien menos tiene menos tendrá*, en términos de vocabulario, de destrezas lectoras y de estrategias cognitivas, de conocimientos conceptuales y procedimentales, de teorías. Para que todos tengan oportunidades los obstáculos son variados, no sólo epistemológicos y pedagógicos. Pero estos últimos también deben ser salvados.

Referencias bibliográficas

Astolfi, J. P. 1999. *El "error", un medio para enseñar*. Sevilla, Diada.
Astolfi, J. P. y Develay, M. 1993. *La didactique des sciences*. París, Presses Universitaires de France.
Bachelard, G. 1948. *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires, Argos.

Bachelard, G. 1971. *Epistémologie*. París, Presses Universitaires de France. [*Epistemología*. Barcelona, Editorial Anagrama, 1989.]

Bachelard, G. 1993. *La filosofía del no*. Buenos Aires, Amorrortu.

Bruer, J. T. 1994. *Schools for Thought*. Cambridge, Mass., MIT Press. [*Escuelas para pensar: una ciencia del aprendizaje en el aula*. Barcelona, Paidós, 1999.]

Byrne, R. 1991. Mental models, en M. W. Eysenck (comp.) *The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology*. Cambridge, Mass., Blackwell.

Claxton, G. 1994. *Educar mentes curiosas*. Madrid, Visor.

Dretske, F. 1995. Misrepresentation, en W. G. Lycan (comp.), *Mind and Cognition. A Reader*. Oxford, Blackwell.

Goldman, A. I., 1986. *Epistemology and Cognition*. Cambridge, Mass. y Londres, Harvard University Press.

Jean, G. 1989. *Bachelard, la infancia y la pedagogía*. México, Fondo de Cultura Económica.

Johnson-Laird, P. N. 1989. Mental models, en M. Posner (comp.) *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, Mass., MIT Press.

Kayser, D. 1992. Profondeur variable et sciences cognitives, en D. Andler (comp.), *Introduction aux sciences cognitives*. París, Gallimard.

Lave, J. 1991. *La cognición en la práctica*. Barcelona, Paidós.

Piatelli-Palmarini, M. 1995. *L'illusione di sapere*. Milán, Arnoldo Mondadori.

Rabossi, E. Mayo de 1990. Wittgenstein: Representaciones y pensamientos. *Cuadernos de Filosofía*, año XXI nº 34. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires.

1

Trabajar los obstáculos para asimilar los conocimientos científicos

Guy Rumelhard

Tradicionalmente, la enseñanza científica se propone introducir de inmediato a los alumnos en el saber actual. Tomar en cuenta los obstáculos sólo adquiere sentido si lo que se busca es pasar del pensamiento común al pensamiento científico, de modo tal que sea posible caracterizar una función polémica de dicho paso: el rechazo de las creencias. Pero uno puede quedarse en la representación, o bien negar la idea de obstáculo de muchas maneras diferentes. Para poder trabajar los obstáculos, hace falta reunir cierto número de condiciones que permiten poner a punto los procedimientos. Hace falta descomponer los progresos conceptuales en etapas que habrán de cumplirse sucesivamente. También hay que analizar el polimorfismo de los obstáculos y su reaparición en las diversas etapas del proceso. Y, finalmente, es menester estar atento a las revoluciones que en general pasan inadvertidas, ya sea porque resultan demasiado familiares, ya sea por el carácter infinitesimal del cambio producido. El caso Galileo permite analizar la articulación entre las diferentes etapas de un proceso de adquisición de conocimiento.

Si uno se fija el objetivo de enseñar y hacer asimilar los conocimientos científicos como un conjunto de resultados socialmente útiles, no es indispensable tener en cuenta las repre-

sentaciones de los alumnos y de los docentes. La utilidad del saber científico se basta a sí misma en virtud de su eficacia operativa práctica.

El funcionamiento de los obstáculos o de los elementos que ayudan a asimilar el saber sólo desempeña un papel si uno se fija como objetivo enseñar el paso del pensamiento común, que ofrece respuestas tranquilizadoras a las preguntas de la vida, al pensamiento científico objetivo que aporta un saber verdadero. La función de los obstáculos se manifiesta asimismo cuando se inserta socialmente ese saber, no tanto en el nivel de sus aplicaciones prácticas como en la esfera más amplia de la constitución de una cultura científica contemporánea.

el objetivo de una enseñanza científica: pasar del pensamiento común al pensamiento científico

En este capítulo no se pretende describir los procedimientos, necesariamente variables, contradictorios y siempre modificables que conviene utilizar para trabajar los obstáculos, sino más bien precisar ciertas condiciones de posibilidad de ese trabajo.

analizar las condiciones de posibilidad de ese trabajo

1. El paso del pensamiento común al pensamiento científico

¿Cómo entender el hecho de que el concepto de obstáculo epistemológico, enunciado en 1938 por Gaston Bachelard, un profesor de física transformado en epistemólogo, haya necesitado tanto tiempo para imponerse? Debemos suponer que dentro de la enseñanza hubo resistencias internas extremadamente poderosas. Examinaremos tres de ellas.

Ante todo recordemos que tradicionalmente la enseñanza científica no se propone el paso del pensamiento común al pensamiento científico. Es una enseñanza que se instala directamente en el saber más actual, sin preocuparse por la posible existencia de otros tipos de conocimientos, y se propone, en el espíritu del alumno, como respuesta que apunta más a tranquilizar o a dar sentido que a ofrecer una verdadera explicación.

Pero, cuando no se ejerce la necesaria vigilancia o se carece de firmeza conceptual o, a veces, por influencia de una demanda de los alumnos, la enseñanza científica puede permanecer, inadvertidamente, en el plano del pensamiento común. Ciertos pedagogos suponen que así despiertan mayor interés o se hacen comprender mejor.

Por fin, sin que esto implique adherir a las estrategias de la sospecha sistemática, uno puede sin embargo suponer que existen numerosas maneras de negar el concepto de obstáculo en su rol didáctico, aun cuando en apariencia se lo tome en consideración.

1.1. Instalarse en la ruptura con el pensamiento común

El saber científico no tiene únicamente la función de responder a preguntas que habrían quedado sin respuesta y como "en espera", reservándose con anticipación un lugar que luego habrán de ocupar. El saber científico tiene una función polémica porque excluye las creencias metafísicas, morales, religiosas, políticas que se presentaban como explicaciones verdaderas. La divulgación del pensamiento de Karl Marx hizo que la noción de ideología se volviera algo común. Marx denuncia las ideologías morales, religiosas, políticas, metafísicas, en nombre de la ciencia. No incluye pues la ciencia en la lista de las ideologías. Pero, para él, el eje de la lucha pasa por la abolición de las relaciones de clase. Cuando estas queden abolidas, la función de ilusión ideológica llegará a su fin y dejará lugar a la ciencia económica.

> el saber científico tiene una función polémica

Entre los científicos, en cierto modo existe una actitud análoga de desplazamiento del punto central de acción. El saber científico reemplaza o hace que se vuelvan caducas numerosas creencias, pero esto es algo que ocurre sin lucha ni resistencia. Los matemáticos no conceden ningún lugar en su enseñanza a las propiedades mágicas o místicas de los números o de las figuras geométricas; los astrónomos no evocan la astrología, ni siquiera para refutarla; los químicos no hacen ya alusión a la alquimia. Para los docentes, la formalización matemática o la invención técnica permiten instalarse directa-

mente en el saber científico que siempre está en ruptura total con esas seudoexplicaciones. Estas creencias ocupan, tal vez de buena fe pero de manera indebida, un lugar que no les corresponde.

Si los alumnos durante la clase evocan estas creencias, no hay que hacer mucho esfuerzo para barrerlas de un plumazo mediante un cálculo o la descripción de un objeto químico.

las creencias se eliminan mediante un simple cálculo...

— Si alguien dice que "Dios es quien da los hijos varones", basta mostrar, con la ayuda de los números, que este es un proceso aleatorio correspondiente a dos acontecimientos equiprobables (salvo en esos casos particulares de familias de mujeres y familias de varones). El modelo matemático es una explicación suficiente en la mayor parte de los casos. Refuta de antemano toda otra seudoexplicación.
— La tormenta, el trueno, los relámpagos son fenómenos que suelen suscitar temores y que necesitan seudoexplicaciones variadas. Es bien conocida la observación de Marx: cuando se inventó el pararrayos, ya no fue posible atribuir el rayo a una intervención divina. Un objeto técnico había expulsado por sí mismo a los aterradores dioses vengadores, sin más explicación.[1]

.... o la descripción de una técnica.

Uno podría preguntarse si un "un hecho en bruto", los números, las acciones técnicas de transformación pueden modificar las representaciones que, por otra parte, tienen una función tranquilizadora más que verdaderamente operativa. Habría que admitir además que el pensamiento nace directamente de los números, de los objetos, de las acciones y no por rectificación de las representaciones.

Habría que creer asimismo que los instrumentos o las técnicas experimentales que los utilizan son en sí mismos pensamientos. Ahora bien, está claro que un instrumento puede servir para explorar, pero no ofrece ninguna ayuda si se trata de preguntar. Salvo de manera metafórica, no hay "diálogo con los objetos", a menos que admitamos un pensamiento no verbal.

Además, si bien, en matemática, astronomía, física, química y geología, la formalización y/o las acciones de transformación a menudo son realizables, numerosos terrenos de la biología no permiten hacerlo tan fácilmente. Por ejemplo, separar en el hombre la sexualidad y la fecundación, estrechamente vinculadas por razones religiosas, demostrar la autonomía de la ovulación y la posibilidad de intervenir para impedirla o para facilitarla exigieron mucho más trabajo y despiertan aún numerosas resistencias.[2]

Asimismo es una ilusión creer que las rupturas instauradas por algunos grandes científicos fueron únicas, totales y definitivas. Hay que saber reconocer las rupturas parciales, las rupturas sucesivas y admitir, por ejemplo, que Galileo, en lo que se refiere a la trayectoria de los planetas, permaneció prisionero de una forma tranquilizadora y cargada de resonancias ideológicas: la del círculo.

Con referencia a la molécula de ADN, preguntémonos qué es lo más importante y qué es lo más fascinante: ¿el hecho de que es doble? ¿el hecho de que se presenta en forma de hélice? ¿el hecho de que gire a la derecha?

1.2. Permanecer en la representación o volver a ella

En un libro de divulgación es frecuente que cuando se quiere presentar el problema moderno de la inmunidad, se evoque a Mitrídades, rey del Ponto, como el inventor de la inmunización. ¿Simple guiño o búsqueda de continuidades que apuntan a borrar la verdadera novedad de la ciencia inmunológica? Decir que los hombres de ciencia contemporáneos han hecho realidad los viejos sueños de los alquimistas, ¿es una simple humorada que no engaña a nadie?

En un trabajo anterior, analizamos la falsa continuidad entre la primera y la segunda "ley de Mendel".[3] La primera corresponde a una sencilla comprobación empírica generalizada, pero en modo alguno general; la segunda corresponde en cambio a una modelización de la separación de los alelos de un gen en el momento de la formación de las gametas. ¿Desconocimiento del trabajo teórico indispensable para analizar los resultados experimentales? ¿Voluntad de mantener la representación común del trabajo científico que da

prioridad y atribuye la última palabra a la observación de los hechos?

Desde entonces la separación de los alelos de los genes "se observa" en las figuras de meiosis y las "leyes de Mendel" desaparecieron de la enseñanza; la voluntad pedagógica de realizar experiencias de cruza entre animales de variedades diferentes (drosofilas) antes de explicar sus resultados sólo puede fortalecer esta representación empírica del método científico, acompañado de un formalismo adherido a los resultados. Aquí sólo podemos limitarnos a hacer una breve alusión a este ejemplo desarrollado más extensamente en otra parte.

mantener la representación empírica del trabajo científico

En etología y en las explicaciones referentes a la evolución de los seres vivos, las expresiones finalistas y antropomórficas en principio se critican vivamente y uno aprende, aunque por cierto con dificultad, a no emplearlas: los animales no son ni útiles ni dañinos, no hay que dejarse llevar por la tendencia a atribuirles nuestros propios sentimientos, no hay una intención que guíe las mutaciones. No obstante, es fácil encontrar, hasta en un tema del examen del bachillerato, el siguiente texto:

"Según la teoría que sostengo, el acontecimiento decisivo es la apertura, hace ocho millones de años, del Valle Rift, que divide el Africa en dos. El oeste permaneció siendo esencialmente boscoso, en tanto que el este evolucionó hacia la sabana. En mi opinión, esta transformación ecológica fue el factor determinante de la hominización, porque las poblaciones que quedaron en el este tuvieron que adaptarse a condiciones radicalmente nuevas. La mayor parte de las especies animales aparecen así como consecuencia del aislamiento de una población en un medio muy diferente del medio de origen..." Durante una entrevista con un periodista, el profesor Yves Coppens utiliza expresiones finalistas; quizás esto sea indispensable para dar atractivo a la divulgación pero se corre el riesgo de caer en el pensamiento común.

la apelación frecuente al finalismo

Comenzar pedagógicamente por el conocimiento común puede corresponder a la voluntad de comenzar por aquello que

los alumnos creen saber por familiaridad o que parecen admitir fácilmente, si no ya intuitivamente. El choque de las bolas de billar proporcionó la raíz misma de la doctrina de la causalidad. La imagen tiene la apariencia de una lección ingenua cuando en realidad es muy compleja e implica conceptos difíciles. Pero uno puede preguntarse sobre todo, junto con Bachelard, si realmente se puede prescindir de ella. Citamos a Cuvier, quien nos recuerda que, "una vez que salimos de los fenómenos de choque, ya no tenemos más ideas netas de las relaciones de causa y efecto".[4] Entonces se presentan dos soluciones: reducir numerosas explicaciones causales a la imagen sugerida por el choque o bien abandonar la noción de causa para describir las relaciones que no corresponden a esta imagen simple.

¡Pero una imagen tan potente no puede abandonarse a un costo tan bajo! Así, en química, al mezclar zinc y ácido clorídrico ciertos manuales escolares dicen, indistintamente, que el ácido ataca el zinc o que el zinc descompone el ácido. Uno es el agente, el otro el paciente. Uno es activo, el otro pasivo. Hay una anterioridad, al menos en la iniciativa. La imagen de la lucha está presente. Los protagonistas se conciben en función de supuestas "propiedades" y no en sus relaciones. El mismo vocabulario aparece con frecuencia en bioquímica: acción de una hormona y de un receptor, de un antígeno y de un anticuerpo. Esta vez la explicación nos mantiene en la representación o nos reduce a ella.[5]

el manual repite la representación común

Ya sea en el nivel de las observaciones, ya en el de los métodos experimentales, los principios de causalidad o los modelos, el pedagogo puede comenzar por el pensamiento común expresado inicialmente por los alumnos. Pero si no trabaja sobre las representaciones, corre el riesgo de no llegar nunca a superar el pensamiento común o de recaer en él.

1.3. Negar los obstáculos aparentando estudiarlos

En la medida en que los obstáculos estudiados corresponden a resistencias profundas, son susceptibles por naturaleza de que los docentes mismos, voluntaria o inconscientemente,

los nieguen, aun cuando en apariencia, los tengan en cuenta y los estudien.

El término obstáculo designa una función en una relación de aprendizaje y no una "cosa" o una propiedad "en sí misma". El término representación puede designar la misma noción, pero tiene el inconveniente de insistir en lo que se presenta a la vista "objetivamente", de manera repetible, si las condiciones son análogas. Se trata de un dibujo, de una frase, de una expresión, de una acción. Y es evidente que, en nombre de la positividad de la observación, uno puede quedarse allí, o bien progresar un poco más, pero detenerse en una de las etapas: señalar un error que uno considera carente de significación (insignificante) o bien darle una significación pero sin mostrar su función de obstáculo; contentarse con una interpretación limitada de su origen, sin proponer un procedimiento de modificación, o bien, tratar de modificar lo que constituye un obstáculo sin analizar su función, etcétera.

el obstáculo cumple una función en una relación

Los estudios didácticos sobre las concepciones que tienen los estudiantes respecto de la luz[6] muestran, entre las representaciones, el hecho de que algunos alumnos dibujan un rayo que parte desde el ojo hacia el objeto. Se puede objetivar esta observación mostrando su carácter repetible y cierta permanencia a través de los años de estudio, aun cuando la proporción de estudiantes que tienen esta concepción disminuye con la edad. El análisis positivo corre el riesgo de detenerse allí. ¿Qué más se puede decir sin caer en la interpretación y, por lo tanto, en lo incierto? Primera sugerencia que puede contribuir a afinar la observación. Según Françoise Dolto, el verbo "tirar" tiene un sentido masculino y un sentido femenino. El varón tira proyectando (como se tira con un fusil); la niña "tira" de algo hacia sí. El sentido de la flecha que se le indique al rayo luminoso ¿difiere en el caso de los varones y de las mujeres? ¿Absurdo? Pero la significación de ese sentido del rayo luminoso ¿no será pues la modalidad de relación con el medio? Obrar o recibir, lo cual no significa necesariamente una oposición entre activo y pasivo. El rayo luminoso no es, a priori y antes de toda enseñanza, la representación

limitarse a lo que dice objetivamente la representación

de un concepto de la física. Representa pues otra cosa que es menester interpretar.

Si uno detiene el análisis en lo que "se manifiesta a la vista", el catálogo de errores, la compilación de sandeces no está muy lejos ¡ni tampoco su empleo irónico!

Otra manera de negar los obstáculos es multiplicar "hasta el infinito" el "repertorio de lecturas" de una representación. Si todas son posibles, ninguna es segura. Y si uno no puede designar con seguridad el modo de funcionamiento, no puede actuar. Salvo en el caso en que se prefieran sistemáticamente las interpretaciones que no provocan conflicto. La creencia de que la representación que tienen los alumnos de la piel de un animal corresponde a algo maternal (la piel da calor y es más eficaz que una simple hoja metalizada que es fría) es bastante simple de admitir y sugiere fácilmente una acción didáctica. Pensar que ciertas representaciones de las metamorfosis tienen algo que ver con la prohibición de la antropofagia provoca perplejidad y no dice de modo evidente qué hacer en clase. Hemos desarrollado esta idea en otra parte.[7]

multiplicar hasta el infinito el repertorio de lecturas

Anteriormente evocábamos la posibilidad de instalarse directamente en la ruptura tratando las representaciones con indiferencia. Tomemos el ejemplo del estudio del funcionamiento del corazón hecho por W. Harvey a comienzos del siglo XVII. Para imaginar la circulación sanguínea, Harvey tuvo que superar el obstáculo constituido por la imagen de la irrigación de los cultivos. Sin embargo, ¡todavía se sigue diciendo que la sangre irriga un órgano! La analogía con la irrigación induce a pensar que la sangre, como el agua en los cultivos, se pierde en los órganos. Por consiguiente hay que buscar una fuente que permita la renovación continua. Para abandonar esta seudoexplicación bastó con medir el volumen sanguíneo contenido en un ventrículo cardíaco y hacer un cálculo de caudal por día en función del número de latidos. Uno puede apoyarse en la afirmación perentoria "la ciencia comienza con la medición" para aportar la explicación de la circulación sin abordar de frente el obstáculo de la irrigación y destruir esta analogía agrícola. Pero esto implica olvidar muchos aspectos de los obstáculos. El vocabulario registra de manera perdurable el obstácu-

lo y le da una perpetua actualidad. La imagen de la irrigación y la falsa explicación que transmite serían de todos modos reactivadas inconscientemente. Pero uno puede, por el contrario, admitir que la palabra ha perdido todo su sentido original y hasta metafórico. Entonces ya no constituye un obstáculo ni ha dejado su huella. La imagen de la irrigación aparece en otros terrenos de la fisiología, el del sistema nervioso y de inervación, por ejemplo. Ahora hay que rehacer el trabajo de quitar el obstáculo a fin de concebir "circuitos" nerviosos. Última observación: con mucha frecuencia los obstáculos son dobles. Para quitar del medio un obstáculo no basta con medir, porque uno queda atrapado inmediatamente entre dos dificultades: la imposibilidad de concebir que una medida de volumen es aquí indispensable constituye un obstáculo, pero un exceso de precisión también puede provocar confusión. Medir no es un acto que "en sí mismo" garantice un progreso del conocimiento. Medir no autoriza a ignorar el obstáculo de la irrigación.

el vocabulario conserva huellas de los obstáculos

Inversamente, se puede proponer que todo se convierta en obstáculo. ¡Las cifras son obstáculos para el cálculo! Las palabras son obstáculos para expresar el propio pensamiento. Hagamos el elogio de las comunicaciones no verbales, de los actos, de los gestos. Los conocimientos adquiridos son obstáculos para asimilar un nuevo saber. Hagamos el elogio de la ignorancia.

1.4. Para Piaget, representación no significa obstáculo

Queda por ver la delicada cuestión de cómo considera Piaget los obstáculos. Diversos autores sostienen que Piaget, como Bachelard (1938) y mucho antes que él, emplea el concepto de obstáculo a través del término representación. Desde 1927, Piaget describe *representaciones del mundo en el niño*. Pero si se trata de describir concepciones erradas, uno puede remontarse sin dificultad a Descartes. Tomemos el ejemplo de *Génesis de la idea de azar en el niño*, publicado en 1951. En la introducción Piaget se interroga sobre la existencia de una "intuición" de las probabilidades. A fin de caracterizar una *mentali-*

dad precientífica que podría ser la del niño, Piaget examina no tanto los estados psicopatológicos como la "mentalidad primitiva" descripta por L. Lévy-Bruhl.[8] Para este último la noción de azar está ausente en las poblaciones que él llamaba "primitivas", porque, aun en el caso en que el ingenio técnico parece intervenir en estado puro, como ocurre con la fabricación de armas, por ejemplo, ese ingenio queda en realidad neutralizado por el pensamiento mágico. "*Las armas que emplean en la guerra son fabricadas con todo el cuidado de que son capaces los indígenas: a menudo demuestran un gran ingenio que las hace temibles y mortales. Pero su eficacia no depende solamente, ni sobre todo, de sus cualidades visibles y materiales. Depende esencialmente de la virtud mística que les haya sido conferida por los hechiceros o por operaciones mágicas... lo que los melanesios quieren y lo que obtienen —o al menos están persuadidos de ello— es una flecha que tendrá, para herir, un poder sobrenatural (mana)...*". Dicho de otro modo, lo que nosotros llamamos un efecto físico es, a los ojos de los melanesios, un efecto mágico.

representación no siempre significa obstáculo

Uno puede objetar que hablar de pensamiento mágico o de superstición no ofrece un medio de comprender. Este pensamiento no es "prerracional" puesto que desea encontrar un orden y un sentido en el mundo y, por consiguiente, reducir lo incomprensible. Su manera de funcionar es esencialmente global. Abarca el mundo como una totalidad no descomponible. La actitud científica separa en planos, descompone, es decir analiza (en el sentido etimológico del término) y le quita a la naturaleza todo sentido preexistente. Por lo tanto, en biología, procura rehacer la síntesis y recuperar un sentido evitando las trampas del finalismo.

el pensamiento "primitivo" busca un sentido

Piaget, citando a Lévy-Bruhl, formula esta demanda sorprendente[9]: "Quisiéramos que se nos informara sobre la manera en que se conduce un arunta o un bororo cuando, al apuntar a una presa, debe enfrentarse a la vez con las leyes cinéticas que gobiernan el movi-

una práctica técnica operativa no elimina la representación

miento de sus flechas y con la dispersión fortuita de los cuerpos que rodean el objeto al que apunta". Piaget postula, pues, que la realidad física puede distinguirse de la realidad mágica en este tipo de situación muy depurada, en la que no intervienen, a su entender, nada más que las leyes cinéticas y probabilísticas. Todo ocurre como si la práctica técnica "pura" eliminara por sí misma la representación mágica o, al menos obligara, "de hecho", si no de palabra, a obrar de conformidad con las leyes físicas y matemáticas.

En cierto modo, cuando se trata de niños, su actitud es la misma. Si la situación física o matemática está bien elegida, uno puede no sólo olvidar su "medio social" sino asimismo esta prodigiosa permeabilidad a todo lo que son mitos, leyendas, cuentos de hadas, esta facilidad para dejarse invadir por los relatos.[10] Aparentemente, para Piaget existe un acceso directo —únicamente sensoriomotor, eventualmente no verbal— al conocimiento científico analítico y operativo.

Nosotros postularemos, pues, que el estudio de las representaciones en función de obstáculos sólo adquiere sentido pleno si uno se propone pasar de las representaciones tranquilizadoras y significativas a los conceptos científicos construidos (y no sólo a los hechos observados empíricamente), procurando establecer un saber verdadero, aunque haya que hacer un rodeo, y sin contentarse con una respuesta inmediatamente eficaz.

La tesis pedagógica que propone comenzar la enseñanza por situaciones concretas y prácticas de la vida cotidiana a fin de dar interés y sentido a los conocimientos científicos refuerza esta exigencia de trabajar sobre el paso del pensamiento común al pensamiento científico, a menos que se quiera permanecer en una representación cómoda, útil o tranquilizadora y en un saber pragmático.

2. Algunas condiciones de posibilidad para trabajar los obstáculos

2.1. Descomponer en etapas

Los progresos conceptuales o metodológicos, el retroceso de las representaciones, su desplazamiento o su conversión se

hacen por etapas que, por consiguiente, es indispensable poder analizar.

- El principio reduccionista aplicado a la biología enuncia en particular que la física y la química deben extender sus leyes actuales y las futuras a los fenómenos orgánicos, y hacerlo sin restricción. Esto implica también un retroceso del vitalismo. Observemos brevemente cuatro etapas.

— Una primera etapa, marcada por un principio de separación entre el dominio de la fisiología humana científica y el de la medicina. El trabajo del médico comienza donde se detiene la explicación físicoquímica. El médico toma en consideración lo que la ciencia ignora o pone entre paréntesis: lo individual y lo subjetivo.

el ascendiente progresivo de las ciencias físicoquímicas

— Segunda etapa: reconocer una influencia de los agentes físicoquímicos en la vida, pero como un conjunto de eventos exteriores al ser vivo.
— La tercera etapa admite que la vida se manifiesta en fenómenos físicoquímicos.
— La etapa final admite que los fenómenos vitales tienen su fundamento en fenómenos físicoquímicos.

Así se puede seguir la superación de un obstáculo cierto, reconocer el ascendiente progresivo que tienen las ciencias físicoquímicas en las investigaciones de la fisiología y en las explicaciones. En el ámbito de la investigación estas ciencias proponen instrumentos de detección, de medición, aparatos complejos y modelos teóricos. La serie de palabras: separación, influencia, manifestación, fundamento, muestra ese progreso conceptual y ese retroceso de un vitalismo que pretende preservar la vida aislándola.

- El papel que desempeña la matemática en biología puede captarse en etapas sucesivas: simple lenguaje que permite describir fácilmente un fenómeno o comunicar un resultado; cálculo eficaz pues permite prever la dinámica de una población, por ejemplo; procedimiento (estadísti-

co, a veces) que permite organizar planes experimentales y luego decidir la validez de los resultados de su comparación; herramienta de decisión para analizar la eficacia de un tratamiento; modelo que explica realmente la naturaleza del fenómeno, la repartición aleatoria de los genes y su recombinación.

la matemática: lenguaje, herramienta, modelo

Históricamente, estas etapas pueden aparecer sucesivamente en autores diferentes o simultáneamente en uno sólo, como en el caso de Mendel. La matemática no es un lenguaje, un medio de comunicación o de predicción, sino una expresión esencial de la "razón" que procura explicar. Esta es la extensión y la profundidad real de las funciones que cumple.

Pero siempre pueden volver a negarse. Así Claude Allègre[11] se pregunta si las nuevas partículas descubiertas por la física "¿son seres reales o seres puramente matemáticos? ¿Vamos hacia la física virtual?". Visiblemente, este autor no concibe "el poder creador de la matemática".[12]

- Evolución hacia el sistema inmunitario. De simple acontecimiento circunstancial (vacunación espontánea) o experimental, la inmunidad se convierte en una propiedad de ciertos organismos. Luego adquiere la posición de función fisiológica general, en un mismo plano y en relación con las demás grandes funciones. La inmunidad se concibe pues como un sistema, luego como un sistema de dos funciones antagónicas (proteger o destruir), integrada a los otros sistemas y a las interacciones psicosomáticas. De concepto aislado pasa a constituir un campo conceptual, integrado en una red y en un programa de investigaciones futuras. Acontecimiento, propiedad, función, sistema; he aquí las etapas que implican también el retroceso de una representación del organismo agredido y que se adapta al medio.

reacción inmunitaria, ciencia inmunológica, sistema inmunitario

- Las etapas que conducen a la concepción y a la formulación de un problema, las etapas que conducen a la validación de un resultado científico podrían igualmente dar lugar al mismo

tipo de análisis: acumulación de observaciones empíricas que se consideran autosuficientes, prueba por acumulación de resultados experimentales que "confirman" la hipótesis, investigación de otras hipótesis u objeciones, prueba por contraprueba, por refutación, etcétera.

probar por acumulación o por refutación

2.2. Analizar la extensión y el polimorfismo de un obstáculo

- La extensión, la profundidad, las múltiples facetas, las máscaras de una representación que constituye un obstáculo pueden también analizarse en etapas. Este es, por ejemplo, el caso de las representaciones de ataque/defensa, de una lucha entre antagonistas.

— Según decía Bichat en 1802, la vida es el conjunto de funciones que resisten a la muerte. Esta visión no se aleja mucho de la representación común que imagina una lucha entre la vida y la muerte y, sobre todo, que personifica esas dos entidades.
— Claude Bernard combina dos proposiciones en contraste: la vida es la creación y la vida es la muerte. La muerte conserva una función negativa, pero la vida no está únicamente enderezada a resistir, a oponerse.
— Puede hallarse la misma oposición entre el ser vivo y su medio en Lamarck. Hay una relación de exterioridad y el ser vivo debe adaptarse bajo la influencia (la limitación) de las funciones del medio. La idea de lucha está presente y, más precisamente, en cierta relaciones alimentarias del tipo depredador/presa, la idea aparente de ataque y de defensa o de astucia para librarse del ataque. Darwin es quien introduce otra concepción de las relaciones de los seres vivos entre sí y de los seres vivos con el medio, pero el término "selección", mal elegido, y la expresión inexacta "lucha por la vida" mantuvieron durante mucho tiempo esta representación común y espectacular de la lucha.

el paradigma de la lucha

— La inmunología, tal como se la ha popularizado a través de las primeras vacunas, ofrece asimismo la idea de un antagonismo (anticuerpos) entre un agresor exterior y los defensores interiores. En este caso, fue necesario un largo desarrollo para explicar la concepción moderna que nos aleja totalmente de esta imagen. En los tres casos mencionados, las nociones de interior y exterior deben revisarse.

— Aun podríamos encontrar esta interferencia de la imagen de la lucha con una explicación biológica en el seno del concepto de reflejo miotático, sobre el cual se superpone la imagen de músculos antagónicos.

— En el terreno del método científico, se supone que la elección entre dos teorías científicas se hace sobre el modelo de la lucha a muerte: una de ellas debe ganar y la otra quedar refutada definitivamente sin dejar ninguna huella. La disputa entre Pasteur y Pouchet en relación con la generación espontánea sería el arquetipo de esta situación. Pero se puede mostrar que a menudo las situaciones son más complejas. La discusión tiene más que ver con la negociación que con la exclusión. Además es imposible concebir, por ejemplo en la medicina del siglo XIX, la producción de un saber como el bacteriológico, que no debiera nada al contagio de las teorías médicas que contribuyó a relegar entre las ideologías.

negociar una conciliación entre dos teorías

Uno puede recordar con facilidad otros ejemplos. Es de esperar que esta representación de una relación de exterioridad, de antagonismo y de conflicto alcance una gran extensión puesto que se basa en conflictos psicológicos, sociológicos y políticos reales, o en conflictos simulados en el nivel del deporte y del espectáculo. En el plano pedagógico, ¿podemos hablar entonces de "conflicto cognitivo" en el aprendizaje? ¿Acaso este concepto psicopedagógico no procede de la misma representación?

- Analizar la progresiva extensión de un descubrimiento que constituye un avance es otra manera de analizar el

retroceso por etapas de las representaciones. El problema de la herencia ha sido "señalado" desde hace mucho tiempo, pero se lo ha formulado mal, puesto que en él se han mezclado las cuestiones de la herencia, con la justificación de la dominación o de la subordinación de clases sociales, de sexo, de linajes "puros". Así es como los alumnos pueden entender el trabajo de Mendel, percibido hoy como "fundador", como algo anecdótico o insignificante. En el mejor de los casos estableció una propiedad exacta pero particular de ciertos vegetales. Se puede llegar a admitir que ese trabajo da comienzo a una nueva disciplina y abre un campo de investigaciones coordinadas durante muchos años, rico en hallazgos imprevistos. Desde entonces y en la prolongación de los trabajos iniciales, la cuestión genética es uno de los grandes pilares de todo problema biológico junto con las cuestiones de estructura, de función, de ambiente y de desarrollo histórico y en estrecha relación con ellas.

la genética: evento insignificante, disciplina, campo de investigaciones

- La profundidad de los vínculos que relacionan ciertas representaciones biológicas con angustias humanas o con ideologías oscila entre la aceptación evidente y el rechazo interrogativo. Decir que la angustia de la muerte aflora ante ciertos conceptos de biología médica parece una trivialidad, lo cual no equivale a decir que tal angustia se tenga necesariamente en cuenta en el plano pedagógico. En el programa de genética se pide explícitamente mostrar que las teorías racistas no pueden sustentarse en los conceptos de esta disciplina. En cambio, la ideología política del progreso social en virtud del progreso científico dista mucho de haber sido expurgada de la enseñanza. Si uno trata de sostener que ciertas representaciones del saber biológico tienen "algo que ver" con las fantasías sexuales, la prohibición del incesto o la prohibición de la antropofagia, muchos docentes quedan "desconcertados" o simplemente perplejos.

2.3. Las revoluciones conceptuales inadvertidas

Haremos una mención especial a las distinciones conceptuales que sólo adquieren sentido una vez que se ha analizado, comprendido y admitido el obstáculo. En este caso, con mucha frecuencia es necesario realizar un esfuerzo considerable para hacer comprender hasta qué punto la distinción de apariencia insignificante constituye una revolución del pensamiento en relación con un obstáculo importante e inadvertido.

- Decir, por ejemplo, que los conceptos de equilibrio y de regulación deben distinguirse claramente choca con el hecho de que se hable de regulación del pH sanguíneo, con lo cual se confunden los dos tipos de mecanismos que intervienen. La intervención de los sistemas tapón por desplazamiento del equilibrio de carbonatos y bicarbonatos tiende a prevenir una modificación del pH sanguíneo. En cambio, las modificaciones del ritmo respiratorio y de la eliminación renal implican la existencia de una desviación; detectarla y poner en funcionamiento un mecanismo compensador (o varios) tiene por objeto volver las cosas a su estado inicial. Aquí, el "objetivo" es una "consigna" inscripta en la estructura del organismo.

equilibrio no significa regulación

Asimismo, en el caso de la geología, es abusivo hablar de "regulación" del porcentaje de dióxido de carbono atmosférico, aun suponiendo que, en la escala de los tiempos geológicos, ese índice esté en equilibrio con los carbonatos de los ambientes acuáticos y con las masas calcáreas que constituyen ciertas rocas.[13] La regulación implica detectar una desviación y poner en marcha un mecanismo corrector. La reversibilidad no está garantizada.

- A fin de detectar la existencia de una acción hormonal, cuando es posible, se describe una experiencia de injerto de glándula después de su ablación. Los injertos y los trasplantes de órganos han llegado a ser algo trivial en el nivel médico y los dos términos suelen utilizarse in-

distintamente, aun cuando los sentidos son diferentes, con lo cual no parecen plantear ningún problema de comprensión ni presentar obstáculos. También en este caso hay que hacer un esfuerzo adicional para comprender en qué medida son diferentes la actitud médica y la actitud científica y hasta qué punto esta última provoca resistencias. Injertar para curar consiste en restablecer, en la medida de lo posible, el estado inicial, es decir, restablecer todas las conexiones originales en el lugar original. Injertar para demostrar consiste en restablecer únicamente ciertas conexiones a fin de mostrar que bastan para restablecer una de las funciones que fue suprimida y que se estudia. De modo que es posible desplazar el órgano que debe injertarse y no colocarlo en su lugar inicial. Crear un animal con un fin demostrativo y, además, crear un animal que no existe y que no podrá vivir fuera del laboratorio es algo difícil de admitir. Y esto choca con una representación del organismo que utiliza la analogía de la máquina. Un órgano actúa en su lugar y en virtud de sus conexiones y no por sus relaciones funcionales. La palabra misma “injerto” oculta la profunda diferencia de las significaciones y las intenciones.

> el injerto encuentra un obstáculo en la representación de las máquinas

3. ¿Es posible dar consignas de trabajo a los alumnos?

El vocabulario que procura decir cómo conviene trabajar las representaciones en su función de obstáculo emplea metáforas de tipo deportivo (rodear, superar, atravesar), menos frecuentemente, metáforas que tienen que ver con el esfuerzo y el padecimiento, aun más raramente, con el conflicto afectivo, el renunciamiento y el duelo, y prácticamente nunca con la lucha ideológica. Esas metáforas son inoperantes por sí mismas.

Dar una lista de consignas de trabajo cuyo efecto pueda asegurarse en relación con un obstáculo dado es un asunto sumamente delicado. Nos limitaremos a analizar dos direcciones de trabajo.

3.1. Trabajar el vocabulario

En ciencia, la tesis reduccionista es también lingüística. El hombre de ciencia, y por lo tanto, el enseñante, utiliza (o crea) un lenguaje claro, coherente, sin equívocos. Sin embargo, en biología numerosos términos dicen lo contrario del concepto que designan, como la palabra "reproducción", o mantienen una ambigüedad, como es el caso de las palabras "desarrollo", "evolución", "metamorfosis" y muchas otras. Aquí el docente no tiene la posibilidad de cambiar por propia decisión términos tan unánimemente aceptados. Pueden emplearse las siguientes consignas: agregar una frase que niegue su sentido inmediato o solamente un adjetivo que lo descalifique sistemáticamente; estar siempre atento para tratar de dar definiciones lo más unívocas posibles, pero ¿se puede definir todo? y un concepto ¿puede encerrarse en algunas frases?; prohibirse y prohibir a los alumnos emplear ciertos términos, pero, ni los manuales y las obras de divulgación hacen esto. La búsqueda de palabras "neutras" corre el riesgo de ser ingenua o ilusoria. Y es bien evidente que, si los obstáculos son dobles, es también necesario establecer la tesis inversa, según la cual, en algunos casos, la ciencia progresa gracias a cierta polisemia. Sin embargo, no existe un criterio enunciable a priori para decir si en el caso estudiado es operante la monosemia o la polisemia.

> la tesis reduccionista es también lingüística

3.2. Las subversiones infinitesimales

A veces unas pocas palabras son suficientes para cambiar por completo una significación. Ya analizamos algunas "revoluciones inadvertidas". Precisemos esto un poco más. Si la palabra mutación se define del modo siguiente: "una mutación es una modificación observable en ciertos animales o vegetales que se presenta bruscamente, es decir, que ocurre por saltos, que es poco frecuente e inmediatamente heredable, o sea, que se transmite a la descendencia", no se está dando una definición falsa. Pero nos olvidamos de que la palabra es un concepto, es decir, una herramienta que aquí pretende crear

una distinción ("entre las modificaciones observables y entre las cuales algunas se deben a factores ambientales, aislaremos cierto tipo de modificaciones que..."). Nos estamos olvidando también de que ese concepto tiene un campo de validez ("lo que es fenotípicamente observable") y que, por consiguiente, está abierto a rectificaciones que al completarlo amenazan con anularlo o contradecirlo. En el nivel de los nucleótidos, ciertas modificaciones son silenciosas o letales y por lo tanto no son visibles fenotípicamente. Ciertas modificaciones ocurren en el nivel de las células somáticas y no son hereditarias en el nivel de la población.

algunas palabras bastan para modificar profundamente la función de una definición

En ciertos casos, puede proponerse una simple consigna operativa. Por ejemplo, para detectar ciertas formas de antropomorfismo se puede dar al alumno la siguiente consigna: "tú razonas como si estuvieras tú mismo en la situación del animal, del órgano, de la molécula, y les atribuyes tus ideas y tus intenciones". Sin embargo, puede dudarse de que tal consigna, por más que se repita, sea suficiente. El polimorfismo del obstáculo implica una pluralidad de acciones que deberán inventarse en cada situación.[14]

En general, la consigna que se dé puede resultar inoperante por sí sola. Hay que traducirla a la situación dada. Pongamos como ejemplo la siguiente consigna: "para plantear un problema es necesario colocarse en una posición ajena a los objetos y situaciones familiares". Sí, pero ¿cómo se logra esto? Del mismo modo, las categorizaciones de representaciones pueden servir de ayuda memoria para el docente: nominalismo, obstáculo verbal, unificación abusiva, pandeterminismo, utilidad, etc., pero rara vez son útiles como consignas de referencia en la clase.

4. La familiaridad hace creer que ciertos obstáculos están superados

A fuerza de hacerse familiares por obra de los objetos, los instrumentos, los gestos y las instituciones, los obstáculos terminan siendo invisibles. El regreso a las fuentes permite ha-

cerlos reaparecer con toda su fuerza en el momento en que debe superárselos. La referencia a la historia de las ciencias no procura lograr un acercamiento entre el alumno y el sabio del pasado, según sostiene una reactualización de la teoría refutada de la recapitulación. Por el contrario, se trata de mostrar que el movimiento mismo del desarrollo científico incluyó un ocultamiento progresivo de los obstáculos y una recuperación de la continuidad de las rupturas. Esta es una nueva condición para trabajar los obstáculos: advertir que no fueron superados, sino ocultados.

los obstáculos se vuelven invisibles

En el siglo XVII, los trabajos de los físicos hacen aparecer de manera condensada y ejemplar todos los obstáculos que es necesario superar para constituir una ciencia; aun más que los trabajos de Harvey en fisiología, son representativos los trabajos de Galileo. Si bien los historiadores de las ciencias lo consideran como el inventor de la ciencia moderna, es evidente que él no lo inventó todo en un vacío de conocimientos. Galileo inventó una nueva lente astronómica, pero, antes de él, debieron hacerse numerosas observaciones y múltiples cálculos. Paul Feyerabend pudo mostrar que Galileo había tratado de triunfar gracias a la astucia y Mario Baglioli pudo describir los esplendores y miserias de un Galileo perfecto cortesano,[15] pero lo esencial no está allí, sino que estriba en que haya hecho converger de manera por completo novedosa tres disciplinas: la matemática, la astronomía y la física. Galileo unifica la mecánica celeste y la mecánica terrestre.

Aquello que llamamos —de una manera tan habitual que hasta hace olvidar su significación— un "procedimiento científico" implica un encadenamiento coordinado de actos y de prácticas de investigación, en otras palabras, un progreso, lo cual subraya la etimología de la palabra método. Lo esencial no está pues tanto en la comprensión de tal o cual etapa tomada aisladamente (manipulación de los instrumentos y aparatos, mediciones, cálculos, observaciones...), sino más bien en la articulación, no determinada de antemano, pero en modo alguno fortuita a posteriori, entre los diferentes actos del trabajo.

procedimiento significa encadenamiento coordinado y progreso

4.1. Ocho puntos fundamentales de los trabajos de Galileo

Los trabajos de Galileo son numerosos y muy bien documentados. Nos es imposible presentarlos aquí, de modo que supondremos que son conocidos y nos limitaremos entonces a señalar ocho puntos fundamentales.[16]

- A diferencia de Aristóteles, Galileo piensa que la matemática puede ser una clave para el conocimiento científico real de la naturaleza e inventa la primera invariante científica de expresión matemática que los alumnos conocen actualmente como "ley de la caída de los cuerpos".

  > la matemática es una clave para el conocimiento

- Su invención técnica, el telescopio, se transforma no sólo en una herramienta de observación, sino además en un instrumento de conocimiento —en el sentido fuerte del término—, es decir, en una herramienta con destino teórico (y no sólo empírico) que permite hacer observaciones que funcionan como prueba para confirmar o refutar las previsiones teóricas.
- Un estudio abstracto de las condiciones de posibilidad del movimiento le permiten enunciar principios (o conceptos): "el movimiento es un estado de las cosas que se conserva indefinidamente". Este principio autoriza una primera formulación del concepto de la conservación de la cantidad de movimiento y una primera formulación del concepto de inercia (que posteriormente se pulirán). Galileo enuncia asimismo un principio de relatividad de las observaciones según la referencia adoptada.
- Esto lo lleva a transformar una concepción de la causalidad-propiedad en una causalidad-relación. A diferencia de Aristóteles, que busca el origen del movimiento y cree que lo alto y lo bajo son referencias absolutas, Galileo subraya la relatividad de los movimientos y se limita a buscar "las causas de las variaciones", en otras palabras, los parámetros que intervienen. El trabajo experimental y matemático permite establecer "leyes". El matemático aspira a informar detalladamente la experiencia y dialo-

ga con el experimentador, quien está provisto de instrumentos precisos.

- Para Galileo, lo esencial del trabajo científico no es sólo ofrecer explicaciones sobre la naturaleza de los movimientos o hipótesis "puramente" matemáticas o fórmulas que permitan realizar cálculos de utilidad práctica (trayectoria de los proyectiles), sino principalmente suministrar pruebas de la verdad y la realidad de lo que presenta.
- Pero también es consciente de que las pruebas que no puede aportar en su época surgirán en un futuro de la ciencia, en el desarrollo de la ciencia nueva. Esta nueva ciencia de la naturaleza es progresiva y, en tal sentido, la ciencia de Newton completa con éxito, es decir, confirma y justifica lo que Galileo había comenzado y preparado.
- La revolución iniciada por Copérnico en 1543 pudo ser fácilmente aceptada como simple hipótesis matemática cómoda, sin provocar la oposición religiosa. En cambio Galileo se fijó la misión de establecer que el heliocentrismo es verdadero de una verdad física. Así, la mecánica terrestre debe ofrecer un modelo de la mecánica celeste. Y sabemos que Galileo no pudo realizar una experiencia convincente, particularmente la desviación hacia el oeste de un cuerpo que cae en caída libre.

el heliocentrismo es verdadero de una verdad física

- Al obrar de este modo, Galileo hacía estallar toda la cultura y toda la mentalidad que representaba el Cosmos: un mundo cerrado, centrado, referencias absolutas, causas formales, propiedades intrínsecas, esencias.

Así aparecen articulados los elementos de la ciencia moderna, los elementos que iniciaron un encadenamiento de investigaciones, que dieron comienzo a una tarea infinita de mediciones y de coordinación de experiencias. Infinita en el sentido de que aún no ha terminado, en la medida en que, por ejemplo, la puesta a punto del avión Concorde le permitió al comandante Turcat hacer nuevas observaciones sobre los movimientos de la Tierra.

la iniciación de una tarea infinita de indagaciones

4.2. Ocho obstáculos que han llegado a hacerse invisibles pero que no han sido superados

Retomemos ahora cada uno de esos ocho puntos a fin de situar y articular los obstáculos actuales.

- ¿Quién podría pensar actualmente que la matemática no desempeña un papel determinante, no sólo para describir los resultados, sino en la constitución misma de los conocimientos en el campo de la física, la química, la biología y la geología? Las leyes expresadas en fórmulas matemáticas son omnipresentes en el campo de la física. Las estadísticas y las fórmulas son numerosas en el terreno de la ecología, el de la fisiología, en el de la genética y en el de la dinámica de las poblaciones.

¿Cómo entender que Galileo abrió una nueva vía? ¿Cómo se pensaba antes de él? Para poder imaginarlo es necesario hacerse ingenuo u observar a los alumnos jóvenes o enseñar a adultos que no poseen el saber matemático. Pero los adultos están familiarizados al menos con el hecho de que los estudios estadísticos permiten conocer opiniones y prever ciertas evoluciones. De modo que para percibir dónde se sitúa el obstáculo es menester hacerse erudito en un saber abolido y superado, pero aceptado colectivamente en la época de Galileo. Ese obstáculo ¿habrá finalmente desaparecido a fuerza de resultar familiar en la vida social? Una matematización puede resultar insuficiente, también puede ser excesiva o demasiado reductora. En biología, es posible buscar la expresión de resistencias que no necesariamente tienen que ser la manifestación de un pensamiento arcaico. La fisiología humana y la medicina nos recuerdan permanentemente la singularidad de cada caso, en tanto que el enfoque científico tiende a ponerlos entre paréntesis, al menos provisoriamente, en aras del estudio de poblaciones y de "promedios". En cuanto a que el pensamiento sea "calculable", la confrontación entre un jugador de ajedrez y un ordenador ha reactivado recientemente los términos del debate.

hacerse erudito en un saber abolido y superado

De modo que aquí tenemos una serie de obstáculos referentes a las relaciones entre la matemática y las ciencias, de las

que puede pensarse que pasan inadvertidas o no son suficientemente tomadas en cuenta con el pretexto de la familiarización con la cultura contemporánea.

- ¿Quién podría pensar actualmente que la ciencia no progresa gracias a la utilización de instrumentos de observación, de detección y de medición? En realidad a menudo hasta se piensa que esa es la única fuente de progreso y que siempre fue así. Los padres atentos que pesan regularmente a su hijo a fin de seguir su crecimiento comparándolo con cuadros o curvas que describen el peso "normal" y sus "desviaciones", necesitan hacer un esfuerzo para cambiar de perspectiva y admitir que en la Edad Media la balanza sólo era un instrumento empleado por los orfebres, los banqueros o los comerciantes. En aquella época nadie tenía idea de que pesar pudiera preparar a alguien para conocer. Entonces la vida de los hombres no era materia que se sometiera a mediciones o cálculos. Instrumentos tales como las lupas, las lentes, los relojes servían para la vida práctica, pero no para el trabajo científico.

También en este caso una evidencia, vinculada con la familiaridad y sostenida por numerosos aparatos utilizados en particular en el ámbito de la medicina, puede hacer pasar por alto un concepto que es necesario construir y algunos obstáculos que deben superarse. La ley de la caída de los cuerpos se "verifica" con gran precisión en cualquier colegio secundario, gracias al banco de colchón de aire, a los captores electrónicos y al registro de datos mediante ordenador. Esta precisión permite por sí sola, sin que haya que conceptualizarla, la influencia del empuje de Arquímedes cuando la medición de realiza en el aire y no en el vacío.

- Los conceptos de inercia y de cantidad de movimiento, en cambio, aún plantean numerosos problemas de comprensión en el curso de la enseñanza. El esfuerzo inicial de los trabajos de didáctica de la física se ha concentrado precisamente en esos conceptos.[17] Ese primer gran éxito histórico de la mecánica encuentra un obstáculo en el hecho de que, en el caso de un ser vivo, la inercia es la

inactividad y la indiferencia. Y esta inactividad se concibe inmediatamente como el reposo o la muerte. En cierto sentido, el concepto de tono muscular se encuentra con el mismo obstáculo. ¿Cómo concebir una actividad en ausencia de movimiento aparente? Vivir es estar activo, elegir, preferir o rechazar, estar en movimiento. La inercia no es el reposo, ni siquiera la resistencia a ponerse en movimiento. Para concebir el concepto físico de inercia es necesario sustraer el movimiento de la materia al poder de intervención de los seres vivos.

dar su lugar a los conceptos

Podría objetarse que es posible pasar de una observación al concepto. Los conceptos dan existencia a objetos, a aparatos y por lo tanto a observaciones que no serían tales sin ellos. El péndulo de Foucault, el giroscopio, el centro de inercia de los cohetes "hacen visibles" los conceptos correspondientes. Si imaginamos la Tierra envuelta en una espesa capa de nubes permanentes que impidiera la observación del Sol, de la Luna y de las estrellas, ¿cuántos alumnos podrían concebir los movimientos de traslación y de rotación de la Tierra mediante la observación de los objetos citados? ¿Podrían concebirlos midiendo con precisión, como se puede hacer hoy, la desviación de la caída de un cuerpo desde una gran altura?

los conceptos dan existencia a los objetos técnicos

Además ese concepto de inercia no surgió completa y definitivamente del cerebro de Galileo. Descartes y Newton contribuyeron en gran medida a elaborarlo. Hubo que recorrer un largo camino hasta lograr distinguir la masa inercial y la masa gravitacional, hasta alcanzar el concepto de referencial inercial y hasta los trabajos de Einstein.

Última observación pedagógica: el dominio del concepto de inercia no es indispensable para resolver la mayor parte de los problemas de la física escolar, tal como se los propone generalmente. Ni tampoco para resolver la mayor parte de los problemas de la vida práctica. De modo que sólo queda el descubrimiento experimental y empírico de la caída de los cuerpos que

permite “verificar” una fórmula matemática que se presenta como un dato de la experiencia. La enseñanza, como algunos caballos, “se niega” a superar el obstáculo.

- La búsqueda de las causas de la caída de los cuerpos, en el sentido finalista y ontológico, es decir, la busca de la “naturaleza” de esta caída y su “objetivo”, hoy se consideran ajenos a la esfera de la física. Pero en este caso la actitud pedagógica es a menudo dogmática, vale decir que toda proposición de un alumno en ese sentido antes que ser desconstruida será “prohibida” como metafísica.

La ciencia busca leyes o modelos con forma matemática y en biología busca mecanismos. En este sentido, experimentar consiste en hacer variar los parámetros y en medir los resultados con la mayor precisión posible. La investigación biológica se presenta con frecuencia de manera diferente. Los terrenos formalizables son poco numerosos y los organismos enteros no pueden analizarse por completo mediante la descomposición en parámetros. Las cuestiones referentes al origen y al objetivo deben despojarse de sus aspectos míticos, pero no pueden eliminarse. Por consiguiente, hay que desconstruirlas y reconstruirlas.

- El saber científico es un saber verdadero. El hombre de ciencia se preocupa por “probar” lo que dice; de lo contrario se calla o dice “no se sabe”. En una sociedad en la que el disimulo y la falsificación son frecuentes, esta representación del científico como símbolo de honestidad y desinterés se utiliza con frecuencia en el nivel publicitario y político. Recordemos que, inversamente, todos los intentos de constituir una sociedad adherida a la política han fracasado (caso Lysenko, sociobiología, evolucionismo…). Pero la familiaridad de esta imagen del sabio no conlleva inmediatamente el hecho de que un alumno esté en condiciones de decir lo que significa “probar”, ni que pueda enunciar criterios de cientificidad. La referencia a “experiencias” hechas en “laboratorio” parece bastar por sí misma.

el saber científico es un saber verdadero

Los procesos recientes relacionados con adulteraciones alimentarias o médicas subrayaron esta idea de "verdad científica" inevitable. Pero estas nociones sólo se toman en consideración a través de su utilidad social. El saber verdadero permanece como telón de fondo y lo que se pone en primer plano es el carácter útil del saber. El trabajo del hombre de ciencia es la búsqueda de un saber útil: esta es la representación dominante. La utilidad social del saber es con gran frecuencia fuente de motivación pedagógica. Siempre es un callejón sin salida teórico.

- Desde mediados del siglo XIX, la idea de un progreso de los conocimientos está firmemente arraigada. La profecía de los descubrimientos que sobrevendrán se emplea ampliamente en particular en el nivel médico, respaldada por la invención de instrumentos nuevos más precisos, más rápidos, más eficaces, para observar, detectar, medir los elementos de una patología. La idea inversa de un deterioro de las condiciones de vida proporcional al progreso científico se vincula progresivamente con la química y la física nuclear, aunque alcanza sólo en menor medida el terreno médico. Por el contrario, la idea de un progreso social recibe cada vez más críticas. Este concepto de un desarrollo de la ciencia, en virtud de los descubrimientos que se suceden y sobre todo se encadenan de manera coordinada, debe, pues, construirse porque gradualmente va corriendo el riesgo de que se lo niegue en su especificidad y de que sufra a cambio el efecto de aplicaciones sociales nefastas.

  > un desarrollo continuo de la ciencia

- La noción de modelo continúa siendo profundamente ambigua, como lo muestran las recientes investigaciones didácticas sobre la modelización. La distinción clara entre modelo para explicar, modelo para copiar, modelo para decidir, analogías heurísticas, simulación, e imitación aún debe construirse.

  > el concepto de modelo es doble

- Desde 1543 la cosmología se hace positiva al renunciar al Cosmos, es decir a una Tierra maternal, un mundo finito

> y cerrado, una mitología del círculo protector, roca de estabilidad y de seguridad, referencia y refugio de todas las desviaciones. Nicolás Copérnico derrumba los fundamentos quiméricos de la astrología y ningún docente considera hoy indispensable evocar la astrología, aunque sólo sea para demostrar su inanidad. Sólo queda el hecho de que los adultos creen en ella o simulan que creen en ella. ¿Admiten realmente que la condición de verdad y la función social de este tipo de creencia no es de la misma naturaleza que la de las explicaciones científicas?

Renunciar al antropocentrismo ¿sería menos difícil en la era de los satélites artificiales? Esto es algo que aún falta argumentar. Pero en biología hay que renunciar al antropomorfismo y aquí la dificultad está mucho más afianzada. Si bien el Cosmos ya no es un refugio, la Tierra continúa siendo cálida, viva, nutricia y protectora. El antropomorfismo impregna incluso la geología y, por consiguiente, a fortiori, las moléculas, los vegetales, los animales y a los hombres según un gradiente creciente.

Vemos así perfilarse una red de relaciones no necesarias entre obstáculos que eventualmente se sostienen entre sí. La matemática reducida a la condición de herramienta de descripción o de comunicación, reducida a una pura forma que recibe, sostiene el descubrimiento empírico de una ley de caída de los cuerpos establecida gracias a precisos instrumentos de medición y que no implica ningún concepto. Todo esto nada tiene que ver con el Cosmos ni con un cambio de representación. Cada vez los actos del trabajo científico se aíslan unos de otros.

> no separar las etapas de un procedimiento

Conclusión

Para concluir podríamos proponer volver sobre nuestros pasos que es lo propio de la enseñanza. Recorrer un camino, pero también saber cuál fue ese recorrido. Evocamos los obstáculos que se presentan para poder concebir el concepto didáctico de obstáculo, obstáculos a los diversos actos científicos que for-

man una red más o menos laxa, obstáculos al encadenamiento coordinado de esos actos. ¿Se los puede jerarquizar o se puede señalar un punto de mayor resistencia? Una palabra condensa por sí sola todas las ambigüedades: "saber". Utilizada como sustantivo implica un proceso de transmisión de informaciones, implica una representación de un saber-cosa, objeto, tesoro que se posee, caudal de conocimientos divisible en trozos independientes unos de otros, colección dispar. Empleada como verbo designa un conjunto de acciones que apuntan a conocer. Implica que haya algo para comprender. Es preciso buscar razones, leyes, mecanismos y procesos de validación de aquello que se concibe. Pares de palabras pueden precisar esta ambivalencia: objeto u objetivación, modelo o modelización, información o formación. Y evidentemente, como los obstáculos son dobles, existe la tentación inversa de identificar saber con método para descubrir, inventar o probar.

la palabra saber: ¿sustantivo o verbo?

De modo que enseñar una metodología bastaría. A través de esta pequeña diferencia (la misma palabra considerada como sustantivo o como verbo) lo que está en juego es el objetivo mismo de una enseñanza científica. Subversión infinitesimal y por lo tanto con mucha frecuencia inadvertida, punto nodal del trabajo sobre la red laxa de los obstáculos que se presentan en el curso del proceso de enseñanza y aprendizaje.

Guy RUMELHARD
Lycée Condorcet, París
Equipo de didáctica de las ciencias experimentales, INRP.

Notas

1. Marx, K. *Introduction à l'économie politique*. París, Editions sociales, 1857, p. 174.
2. Cantor, M. *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Niza, Z'Editions, 1994.
3. Rumelhard, G. *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berna, Peter Lang, 1986.
4. Bachelard, G. *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. París, PUF, 1951, pp. 83-84.
5. Méheut, M. Presentación en el seminario de didáctica del INRP, 1996.
6. Fawaz, A. y Viennot, L. Image optique et vision. *Bulletin de l'U-*

nion des Physiciens, 1986, pp. 686, 1125-1146. Kaminski, W. *Optique élémentaire en classe de quatrième: raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement.* 1991. Tesis Universidad París 7.

7. Rumelhard, G. Permanence, métamorphose, transformation. *Biologie-Géologie* (APBG) 2, 1995, pp. 333-345.
8. Lévy-Bruhl, L. *La mentalité primitive*. París, PUF, 1922, pp. 383-392.
9. Piaget, J. *La genése de l'idée de hasard chez l'enfant*. París, PUF, 1951, pp. 7-12.
10. Lacan, J. *Séminaire I*. París, Seuil, 1954, p. 60. [*El Seminario.* Barcelona, Ediciones Paidós Ibérica, 1981.]
11. Allègre, C. Vers la physique virtuelle. *Le Point* nº 1232, 1996.
12. Boutot, A. Le pouvoir créateur des mathématiques. *La Recherche* 215, vol. 20, 1989, pp. 1340-1348.
13. Gohau, G. En contrepoint de la régulation: les équilibres en physique et chimie, en *La Régulation en biologie. Approche didactique*. París, INRP, 1994, pp. 67-74. Larcher, C. Point de vue à propos des équilibres chimiques. *Aster* 18, 1994, pp. 57-62.
14. Rumelhard, G. Représentation et travail résistant. *Biologie-Géologie (APBG)* 4, 1996, pp. 753-766.
15. Feyerabend, P. *Contre la méthode.* París, Seuil, 1979. [*Contra el método.* Barcelona, Ediciones Orbis, 1985.] Baglioli, M. *Galileo Courtier.* The University of Chicago Press, 1993.
16. Koyré, A. *Études galiléennes.* París, Hermann, 1940. [*Estudios galileanos.* Madrid, Siglo XXI de España Editores. 1990.] Koyré, A. *Études d'histoire de la pensée scientifique.* París, Gallimard, 1973. [*Estudios de historia del pensamiento científico.* Madrid, Siglo XXI de España Editores.] Yakira, E. *La causalité de Galilée à Kant*. París, PUF, 1994. Balibard, F. *Galilée, Newton lus par Einstein.* París, PUF, 1984. Acloque, P. Histoire des expériences pour la mise en évidence du mouvement de la terre. *Cahiers d'Histoire et de philosophie des sciences*, 1982. Canguilhem, G. Galilée: la signification de l'oeuvre, et la leçon de l'homme, en *Études d'histoire et de philosophie des sciences.* París, Vrin, 1968, pp. 37-50.
17. Viennot, L. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire.* París, Hermann, 1979.

2

Construcción de problemas y superación de obstáculos

Michel Fabre
Christian Orange

En la mayor parte de los casos, el tratamiento didáctico de los obstáculos se realiza en situaciones de resolución de problemas. Por razones que corresponden a la vez a las características epistemológicas de los saberes científicos y a las condiciones psicológicas del cambio conceptual, trataremos aquí de vincular los procesos mediante los cuales los alumnos abordan la superación del obstáculo y la construcción de problemas. Como lo muestra un estudio de caso, el concepto de construcción de espacio-problema, surgido de la psicología cognitiva, permite formalizar los debates en clase. El estudio comparado de diferentes dispositivos instrumentados en clase permite asimismo esbozar una tipología de las rupturas e invita a realizar una diversificación de las estrategias didácticas de cambio conceptual.

La importancia de las concepciones y de los obstáculos en los aprendizajes llevó a la didáctica de las ciencias a interesarse en los dispositivos de ayuda para lograr los cambios conceptuales. Actualmente, con mucha frecuencia se dominan los medios de hacer dudar a un alumno del valor de sus concepciones (fisura). Pero, a pesar de ciertos intentos de teorización de los cambios conceptuales,[1] las condiciones que permiten

una verdadera superación del obstáculo, así como la adhesión a otra concepción aún continúan siendo oscuras (Astolfi y Peterfalvi, 1993; Johsua y Dupin, 1993, p. 133). Nos parece que esta dificultad está asociada al hecho de que habitualmente los análisis didácticos se concentran en la resolución de problemas. Ahora bien, desde nuestro punto de vista y como ya lo propusimos antes (Fabre, 1993), lo que deben estudiar los didactas y lo que debe trabajarse en clase es ante todo la construcción y reconstrucción de los problemas.

¿resolución o construcción de problemas?

Recordemos brevemente nuestra tesis. Es posible colocar a los alumnos, que ya están provistos de sus conocimientos, ante acontecimientos que implican un problema: fenómenos que no tienen una explicación inmediata, la concepción de un par… Esto puede hacerse espontáneamente dentro o fuera de la clase o provocarse deliberadamente, por ejemplo, durante una situación-problema. Entre ese problema que se le presenta al alumno y el problema resuelto se da todo un proceso fundamental que generalmente se estudia poco en didáctica y que consiste en una construcción y una reconstrucción[2] del problema o la problematización. Este proceso transforma un problema percibido en uno construído o, de manera más general, en un conjunto articulado de problemas construidos (problemática).

Este artículo tiene por objetivo mostrar lo que aporta el estudio de los procesos de problematización a la comprensión de los cambios conceptuales. En una primera etapa, trataremos los vínculos que existen referentes a la naturaleza de los saberes que se procura transmitir, entre rupturas y obstáculos, por un lado, y construcción de los problemas, por el otro. Luego, durante un estudio de caso, precisaremos ciertas características del proceso de problematización, en sus aspectos didácticos. Finalmente, propondremos una tipología de las rupturas y de los obstáculos asociados, empleando como punto de apoyo la variedad de los procesos didácticos de construcción de los problemas.

1. Saberes científicos, problemas y obstáculos

¿Qué ocurre cuando un alumno o, de manera más general, un individuo, cambia de concepción o supera un obstáculo? La interpretación de esta pregunta depende estrechamente de la idea que uno tenga de los conocimientos. Seguidamente presentaremos lo que significa para nosotros un saber científico y lo que implica en cuanto al origen posible de los obstáculos y en cuanto a las condiciones didácticas de su superación.

> las características de un saber científico

Tres son para nosotros las principales características de los saberes científicos. No son independientes, pero aclaran aspectos diferentes:

— los saberes científicos son competencias,
— los saberes científicos son saberes razonados,
— los saberes científicos se comparten y se someten a la crítica.

1.1. Los saberes científicos son competencias que permiten manejar los problemas

Un saber científico no es la simple descripción de una realidad: permite explicar, y de manera subsidiaria, prever;[3] por consiguiente, permite dominar los problemas. Esta es una característica que los saberes científicos comparten con las concepciones de los alumnos. Y aquí es donde aparece la rivalidad. El alumno debe llegar a conocer oponiéndose a otros conocimientos anteriores: de ahí la importancia didáctica del concepto de obstáculo epistemológico. Uno sólo puede tener acceso a la cultura científica cambiando de cultura, echando por tierra los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana (Bachelard, 1938). Por ejemplo, los obstáculos que Canguilhem califica de interés técnico, ligados a las relaciones sociales habituales con los seres vivos, censuran toda explicación analítica de la vida (Canguilhem, 1975). Más generalmente, la eficacia de las concepciones es un componente importante de los obstáculos ¿conveniencia de los saberes escolares?

> explicar y prever

De ello resulta, como ha quedado ahora claramente establecido en didáctica de las ciencias, que el saber en el que se procura introducir a los estudiantes debe poder rivalizar, en el manejo de los problemas, con sus concepciones iniciales. Desde este punto de vista, una enseñanza que se limite a una descripción de la realidad parece poco valiosa en el plano epistemológico: un saber verdaderamente científico debe revelarse como un saber funcional. Esto muestra asimismo la necesidad de no reducir las actividades escolares al trabajo sobre las rupturas y de permitir que los alumnos empleen sus nuevos conocimientos y extiendan su alcance afrontando diversos problemas de los llamados "normales".[4] ¡Sólo pagando ese precio se logra la superación de los obstáculos!

¿son pertinentes los conocimientos escolares?

1.2. Los saberes científicos son saberes razonados

Esta frase puede parecer una obviedad en cuanto a los saberes de los hombres de ciencia, pero veamos qué significa en el ámbito de la clase. Tomemos el ejemplo de la nutrición, tal como se la puede estudiar en el tercer ciclo de la escuela primaria: se trata de hacer comprender a los alumnos la participación de los alimentos en el funcionamiento de su cuerpo. En ciertas concepciones iniciales, los alimentos se acumulan en una bolsa que aumenta su tamaño progresivamente a lo largo de la vida, lo cual explica el crecimiento. Otros alumnos piensan en tubos "nutrientes", presentes en todo el cuerpo, pero independientes del sistema sanguíneo.

En realidad, estas concepciones mezclan tres tipos de conocimientos: opiniones oídas y adoptadas, como las relaciones entre nutrición y crecimiento; convicciones adquiridas empíricamente, pero no cuestionadas, como el vínculo entre los alimentos ingeridos y el vientre; invenciones para articular de manera explicativa los diferentes puntos.

¿Qué significa superar estas concepciones y pasar a un conocimiento científico? La cuestión no consiste únicamente en cambiar de idea: por ejemplo, abandonar la opinión de que el alimento se instala en el vientre y así hace engordar, a fin de adherir a la formulación según la cual los alimentos, después

de haber sido transformados, se distribuyen por todo el cuerpo a través de la sangre. Lo importante no es tanto tener acceso directo a un saber fáctico "verdadero", sino más bien construir o reconstruir la problemática para la que ese saber suministra una solución posible. En el ejemplo que elegimos, lo esencial es indudablemente que los alumnos elaboren una problemática de distribución, es decir, que capten la necesidad de distribuir algo que procede de los alimentos a todas las partes del cuerpo y que imaginen diferentes posibilidades para tal distribución —difusión, tubos nutrientes, vasos sanguíneos..., aun cuando, en el cuerpo humano, se dé una sola de ellas, como luego lo indicarán secundariamente las confrontaciones empíricas.

¿saber fáctico o problemático?

Hacer ciencia es pues abandonar un conocimiento de opinión, un conocimiento mal cuestionado, asertivo, es decir, reducido a una mera comprobación, para llegar a un conocimiento que, una vez problematizado, se fundará en la razón, llegará a ser apodíctico. Esto es lo que ocurre en la ruptura fundamental que presenta Bachelard entre conocimiento común y saber científico;[5] pero esto puede extenderse a toda ruptura, incluso entre dos teorías científicas, porque sin la debida vigilancia, lo apodíctico vuelve pronto a lo asertorio.[6] A estas rupturas se oponen obstáculos del tipo "experiencia primera" o "conocimiento general" (Bachelard, 1938).

de un conocimiento de opinión a un conocimiento apodíctico

Así es como lo que hay que tratar de hacer construir a los alumnos es un espacio de necesidades y de posibles (la representación del problema, o el espacio-problema), sin limitarse a ese juego de manos que consistiría simplemente en hacerlos cambiar de opinión. Las rupturas y la superación de los obstáculos correspondientes están vinculados ante todo, no con la resolución del problema, con el descubrimiento de una solución, sino con la construcción, por parte de los alumnos, del problema o de una problemática dentro de un cuadro teórico definido.[7] En la segunda parte de este artículo ofrecemos el análisis de un trabajo de esta índole realizado en clase.

1.3. Los saberes científicos son saberes que se comparten y se someten a la crítica

Un saber científico no es un simple conocimiento privado, por pertinente que sea (pero, entonces, ¿quién podría juzgarlo?). Debe someterse a la discusión pública y debe poder cuestionarse. Karl Popper explica del modo siguiente la invención de la ciencia: "Los filósofos griegos inventaron una nueva tradición que consistía en adoptar una actitud crítica en relación con los mitos y en discutirlos: se trataba, no solamente de contar un mito, sino de hacer que el auditorio lo discutiera" (Popper, 1985: 192-194).

Esta actitud crítica, constitutiva de la ciencia, adquiere dos formas complementarias, pero muy vinculadas entre sí.

Ante todo, está la comunidad científica. En el ámbito de la ciencia, un resultado sólo tiene sentido, en efecto, una vez que ha sido comunicado, retomado, admitido y reconstruido por los demás miembros de la comunidad científica. En otras palabras, un saber no será verdaderamente científico si no es compartido y discutido y si no puede servir de base para otros desarrollos comunicables. En el caso de la ciencia en la escuela, es necesario pensar, pues, de manera primordial, en debates científicos y en argumentaciones.

debates y experiencias

Pero también y, según Popper esto es una consecuencia del primer punto, es importante poner a prueba modelos y teorías mediante la confrontación con lo real: observaciones, experimentaciones o el mero hecho de recurrir a hechos reconocidos; se trata entonces de comparar visiones previas teóricas con fenómenos espontáneos o provocados. Todo esto aparece resumido en lo que el biólogo F. Jacob dice del pensamiento científico: "En cada etapa es necesario que se lo exponga a la crítica y a la experiencia". (Jacob, 1980: 30).

Difícilmente, pues, un saber escolar que no fuera objeto de discusiones durante las clases y de confrontación con los conocimientos empíricos de los alumnos, aun cuando estos no sean propiamente experimentales, podría aspirar a la verdadera condición de saber científico. Esto implica que, a pesar de los límites justamente afirmados de los conflictos cognitivos breves, el debate científico en el seno de la clase es fundamental.[8] El acceso de cada alumno de la clase a un saber científico sólo

puede lograrse mediante la construcción de una problemática común que funde en la "razón compartida" un paradigma de la clase.[9] Este paradigma podrá, pues, servir de marco para la construcción y la resolución de nuevos problemas que lo harán evolucionar progresivamente (problemas normales).

Así, el hecho de someter a la crítica saberes científicos, remite a las dos características de dichos saberes presentadas anteriormente: su carácter operativo para manejar los problemas y su fundamentación mediante la constitución de un espacio-problema.

1.4. Conclusiones

Las características del saber científico que destacamos nos llevan, pues, a vincular estrechamente las rupturas y la superación de obstáculos con la construcción de problemas por parte de los alumnos, en el seno de la comunidad científica que representa la clase Seguidamente, precisaremos ese trabajo de problematización y su vínculo con el cambio conceptual partiendo de un ejemplo.

2. Problematización y construcción del espacio-problema

2.1. La problematización

¿Qué significa problematizar? ¿Cómo describir el proceso de problematización? Supongamos que la pregunta es: "¿Cómo logran los alimentos hacernos crecer? ¿Qué conocimientos se espera que tengan los alumnos del CM* sobre el tema? Leemos en un (viejo) manual de CM:

"Los dientes trituran los alimentos que luego descienden al estómago donde se los amasa y se los convierte en papilla. Luego esta papilla pasa al intestino cuyas paredes están tapizadas de vasos sanguíneos. Los alimentos pasan así a la sangre que

* CM: Ciclo medio. Equivale a 3.er y 4.o grado (8 y 9 años de edad de la escuela primaria o educación básica (EGB). [T.]

los transporta a todas las partes del cuerpo para nutrirlas. Los desechos se eliminan.”

A partir de este ejemplo se puede tratar de esbozar una tipología de la enseñanza-aprendizaje según sea que predominen la comprensión, la resolución de problemas o la problematización.

tres tipos de enseñanza

• *La comprensión*

Aquí se parte del resumen que el alumno debe comprender. En este caso, las proposiciones del texto parecen valer por sí mismas e independientemente de todo contexto de investigación. Pero, en realidad, sólo son inteligibles en relación con los problemas que solucionan simplemente rechazándolos (Meyer, 1986). Comprender una proposición o una serie de proposiciones es pues recuperar las preguntas olvidadas a las cuales esas proposiciones responden. Dicho de otro modo, la comprensión se basa ya en la problematización, pero en una problematización privada, ignorada por el docente.

• *La resolución de problemas*

Cuando el maestro o el manual formulan el problema, el alumno debe resolverlo y la solución que produzca coincidirá con el conocimiento que ha de aprender. Aquí, quien produce la respuesta es el alumno, pero este no tiene ningún margen de maniobra en la construcción del problema que finalmente continúa siendo prerrogativa del maestro o del manual.

• *La problematización*

En este caso, el problema no se presenta completamente; se lo plantea mediante una pregunta general o una situación. Los alumnos deben construirlo progresivamente partiendo de un cuaderno de tareas y mediante un sistema de contaminación de obligaciones, de modo tal que su determinación completa coincida efectivamente con sus soluciones posibles. Para el docente, el objetivo es que los alumnos construyan una problemática pertinente en relación con la cuestión tratada, problemática que es la única capaz de dar sentido a las soluciones halladas y, por consiguiente, a los conocimientos científicos construidos. En este último marco nos situamos nosotros.

2.2. La idea de espacio-problema

A fin de describir ese proceso de construcción del problema, partiremos de la idea de espacio-problema[10] de Newell y Simon, retomada por la psicología cognitiva (Richard, 1990: 120). Resolver un problema es aquí recorrer un espacio donde aparecen representados los estados sucesivos de la situación (los nudos) como consecuencia de las acciones del sujeto (los arcos). Uno de los nudos representa la situación de partida, el otro la situación de llegada. Este espacio-problema constituye así un modelo formal que permite describir los procesos reales de resolución. Además, el tratamiento de un problema supone la definición concreta de ese espacio, definición que conduce a representar el problema con sus tres componentes: interpretación de la situación inicial, de la situación-objetivo, de las acciones lícitas.

- La psicología cognitiva distingue entre la representación del problema que hace el experto y las representaciones más o menos adecuadas que hacen los neófitos. Estas dos representaciones no necesariamente confluyen, en la medida en que el novato puede definir un espacio más restringido o, por el contrario, más amplio que el que corresponde a la tarea (Richard, 1990: 123). Nos parece conveniente distinguir diversas representaciones "eruditas" según los diferentes expertos que intervienen: el biólogo (a), el didacta (b), el docente (c); y varias representaciones de los neófitos: la del grupo de la clase (d), o la de un alumno en particular (e). Rara vez estos espacios coinciden completamente. Por lo demás, los problemas planteados por estas intersecciones y estas disyunciones son interesantes desde el punto de vista didáctico.[11]

  > diferentes representaciones de un problema

- La segunda distinción importante corresponde a la tipología de los problemas. Jean François Richard muestra que un problema aparentemente tan bien definido como el de la torre de Hanoi puede resultar ambiguo para el novato.[12] Pero la indeterminación aumenta cuando se estudian los problemas "ricos en el plano semántico", tales

como los científicos o técnicos. En este tipo de problemas, la actividad cognitiva del alumno se aproxima más a una actividad de concepción o de proyecto (por ejemplo, escribir un artículo) o hasta a una actividad de inducción de estructura (hacer un diagnóstico), que a una actividad de resolución de problema mediante la transformación de los estados, del tipo de la torre de Hanoi.

problemas ricos desde el punto de vista semántico

- La tercera distinción corresponde a los procesos de comprensión y de resolución. Para la psicología cognitiva, la comprensión consiste en la (re)construcción del problema, en tanto que la resolución corresponde al descubrimiento de un camino que vincule el estado inicial con el estado final. Una surge de la lectura del mapa, la otra de una orientación en el territorio (Richard, 1990: 28 y 158). Pero, ¿cómo concebir el proceso cognitivo de elaboración del mapa o de construcción del espacio-problema?

Sugerimos pues reconsiderar las proposiciones de Newell y Simon tomando en cuenta la idea de que el espacio-problema debe construirse y no simplemente recorrerse. En las ciencias se pueden distinguir de manera relativamente sencilla los procesos de construcción de los procesos de resolución. La construcción del espacio-problema se inicia con la toma de conciencia de que se formula una pregunta que conduce a organizar los elementos del problema. Este espacio es, al mismo tiempo o poco después, el lugar de desarrollo de la resolución, desarrollo que se extiende desde la formulación de hipótesis hasta su verificación o la comprobación de su falsedad. Construcción y resolución son por lo tanto dos procesos lógicamente, pero no cronológicamente, distintos: en un proceso real de problematización, estas dos actividades están la mayor parte de las veces superpuestas. Como dice Michel Meyer (1979), hay un arte de los problemas que corresponde a una lógica del sentido y un arte de las soluciones que corresponde a una lógica de la verdad. Hablar de lógica del sentido significa aquí que las preguntas apropiadas en este nivel no son las que permiten establecer la verdad o la fal-

construcción del espacio-problema

sedad, sino que antes bien se procura localizar los puntos singulares, interesantes, notables, en suma, aquellos puntos capaces de hacer progresar la indagación y abandonar los demás.

2.3. Un estudio de caso

El ensayo de modelización presentado aquí corresponde a un debate científico desarrollado en una clase de CE2* que se interroga acerca de la nutrición: "¿Cómo logran los alimentos hacernos crecer?". El objetivo del docente es hacer construir a la clase una problemática de distribución (representación del neófito), la cual podrá compararse con la representación del enseñante. Aquí haremos hincapié en lo que tiene que ver con la construcción de los problemas en el curso del debate científico desarrollado en la clase y dejaremos de lado la búsqueda de la solución.

Todo debate, toda argumentación, puede estudiarse como esquematización (Grize, 1990). Aquí nos interesa la dimensión epistémica de esta esquematización: ¿cuáles son los subproblemas y las respuestas parciales que suscita el tema tratado (la distribución de los alimentos)? Nuestra intención es dar un resumen global del debate.[13] Las proposiciones del resumen son del tipo pregunta/respuesta. Pueden reagruparse según el problema (implícito o explícito) que les concierne: el asunto de que se trata.

describir un debate científico

El conjunto de las proposiciones del debate constituye la representación del problema a la que arriba la clase (¡y no todavía su solución!). Esta representación se lee en dos dimensiones: vertical (el encadenamientos de las preguntas y las respuestas que hace que la problemática siga su curso y avance) y horizontal (la diferenciación de las preguntas y de las respuestas que produce una ampliación de la problemática). El encadenamiento tiene que ver con las inferencias que son de diversos tipos (P-R) inferencia apocrítica (se responde a la pregunta); (R-P) inferencia problemática: la respuesta desencadena nuevas preguntas, sin que necesariamente se la ponga en tela de juicio; (R-Po) objeción; la respuesta se discute.

* CE2: Ciclo elemental 2. Equivale a 3.er grado (8-9 años de edad). [T.]

La diferenciación se relaciona con las derivaciones del debate. Por ejemplo las alternativas (**O** excluyente) tales como las preguntas (P/P) o las respuestas que se oponen entre sí (R/R). Las ramificaciones (**Y**) de preguntas en subpreguntas (P:P) o de respuestas (R:R) y hasta de objeciones (O:O).

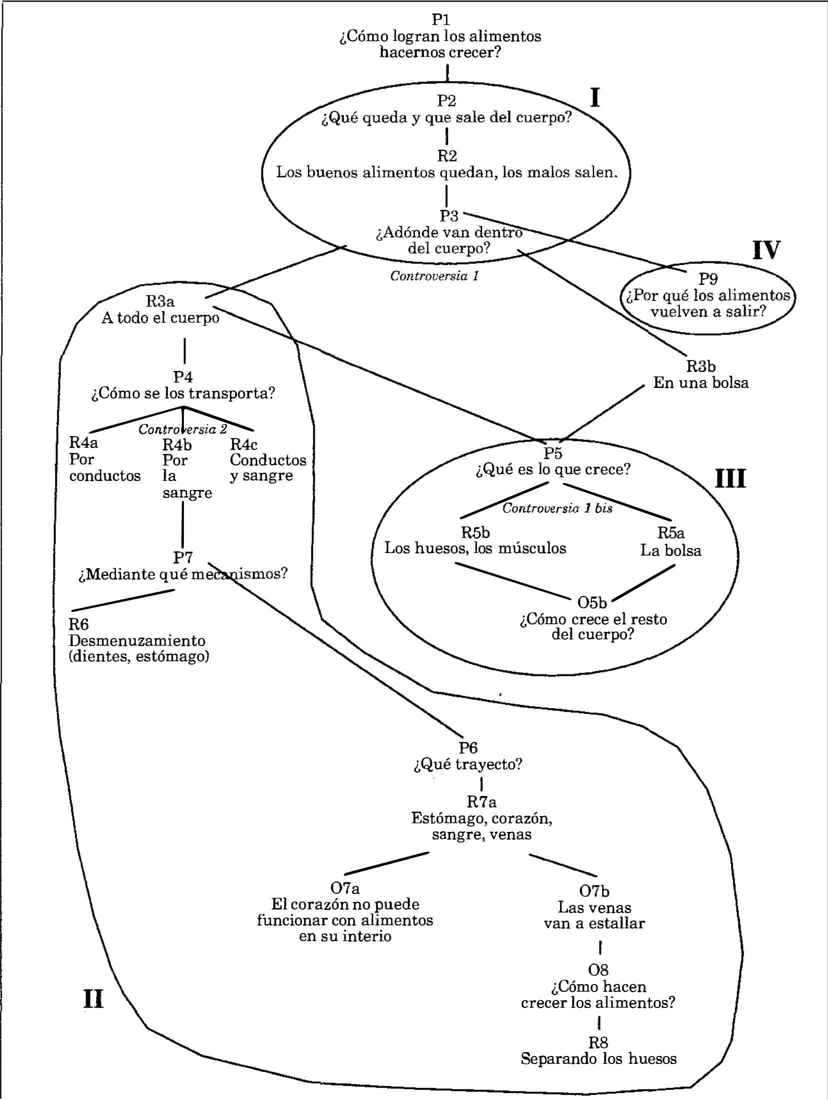
Durante la construcción, el espacio-problema se disocia asimismo en subespacios, rotulado cada uno en relación con un problema fundamental. Cada subespacio puede abarcar lo que "no está en cuestión"[14] e incluir además nudos argumentativos.

En la página siguiente vemos, pues, una representación posible de la macroestructura del debate. Se trata de un esquema que no es ni estrictamente cronológico ni estrictamente lógico. Y puede analizarse del modo siguiente:

controversias y problemáticas

- Un desarrollo (P1...P3)
- Una ramificación (A) R3a / R3b. Esta es la controversia fundamental (*Controversia 1*) de esta secuencia entre : "Los alimentos permanecen en la bolsa"/ "Van hacia todo el cuerpo".
- Desarrollo de R3b "Van hacia la bolsa". Las respuestas (R3a y R3b) provocan una inferencia problemática (P5: "¿Qué crece?") que a su vez provoca respuestas alternativas (R5b y R5a), seguidas de una objeción (*Controversia 1 Bis*).
- Desarrollo de R3a. La inferencia problemática P4 da lugar a una ramificación de tres respuestas (R4a, R4b, R4c) *(Controversia 2)*, las cuales producen una ramificación de inferencias problemáticas (P6, P7) referentes a los subproblemas mecánicos. De donde surge el nudo (R7a, O7a, O7b) relativo al paso de los alimentos a la sangre.
- Es posible identificar cuatro subespacios. Subespacio (I), problema de las entradas/salidas que constituye lo "que no está en cuestión" y que puede formularse del modo siguiente: "Existen alimentos buenos y alimentos malos; los alimentos malos vuelven a salir del cuerpo; los alimentos buenos permanecen en él; los alimentos se trasladan por conductos". Subespacio II, problema de distribución de los alimentos en todo el cuerpo. Subespacio

Macroestructura del debate desarrollado en una clase de CE (clase de Isabelle Ménard)



(III), "¿Qué crece?". Subespacio (IV), preguntas periféricas. El subespacio (II) es naturalmente el más diferenciado y minimiza el (III).

- Sin tratar de esquematizar exhaustivamente el espacio-problema del docente, se puede destacar que quien da forma explícita a los principales subproblemas a partir de las respuestas brindadas por los alumnos (P1, P2, P3, P4, P5, P7) es el docente. Su acción apunta a que los demás alumnos comprendan las respuestas (si por comprender se entiende ¡volver a los problemas!). El maestro localiza asimismo las dos controversias nº 1, seguramente para alentar a la clase a abordar una problemática de distribución.

2.4. Conclusiones

En nuestra perspectiva, el alumno sólo puede dar sentido a los conocimientos científicos sobre la cuestión de la nutrición si los produce (con ayuda del maestro y de sus pares) como soluciones de una problemática de distribución. Para el alumno, construir un problema es, pues, participar de la elaboración de un mapa mental hecho de preguntas/respuestas; comprender lo que en ese mapa corresponde a conexiones necesarias y lo que, por el contrario, presenta posibilidades entre las cuales hay que decidir. Para el docente, la tarea de hacer construir a los alumnos una problemática de distribución cumple tres grandes funciones. La función de explicitación: el docente ayuda a los alumnos a formular sus respuestas, a preguntar sobre las respuestas de otros alumnos y hace visible la unidad de la problemática trabajando el vínculo problema/solución. La función de toma de conciencia: el docente ayuda a los alumnos a identificar las grandes fases de la discusión, a identificar los nudos del debate, las principales controversias, a comprobar finalmente la progresión o el estancamiento de ese debate. Por último, cumple la función de "guía": el enseñante obra como un director de investigación que señala las pistas interesantes y que —si es necesario— desplaza las preguntas de los alumnos al hacerles admitir (gracias a elementos "críticos": documentos, observaciones, experiencias...) necesidades, nuevas para ellos, y sus posibles respuestas.

Tomar seriamente la idea de la problematización implica obligarse a describir el proceso mediante el cual se instaura en la clase un debate científico. Este debate sólo puede formalizarse si se acepta diferenciar la construcción del espacio-problema de su utilización como instrumento para la resolución. Mediante un ejemplo, hemos mostrado que ese debate puede describirse en virtud de un formalismo simple. Aunque sumaria, una descripción de este tipo permite localizar diferentes problemáticas del debate y las controversias que lo avivan. Esta descripción ofrece así indicaciones [15] sobre el espacio-problema construido por los alumnos.

3. Hacia una tipología de las rupturas

En el ejemplo que acabamos de dar, la construcción del problema por parte de los alumnos y, por consiguiente, la representación que estos hacen del espacio-problema, se elaboran esencialmente en un debate colectivo guiado por el maestro y que se basa en las producciones de los grupos. No se trata de una regla general. Otros estudios de caso que no podemos detallar aquí (véase Orange y Fabre, 1996) muestran que los procesos de problematización pueden adquirir formas bastante diferentes, cuando el debate colectivo no basta para construir o reconstruir el problema en el "paradigma-objetivo".[16] Evidentemente, detrás de esta diversidad aparente puede ocultarse una unidad de funciones didácticas. Pero hoy parece necesario interrogarse acerca de la naturaleza de las rupturas y de los obstáculos que están en juego en estos diferentes dispositivos: la necesidad de diseñar una tipología de las rupturas se hace cada vez más evidente. El estudio de los diferentes procesos didácticos de construcción de problemas permite situar las primeras referencias de tal tipología.

diferentes procesos de problematización

3.1. Tres prototipos de dispositivos-problemas en biología-geología

Describiremos brevemente tres dispositivos que nos servirán de prototipo para la fase que va desde las primeras producciones explicativas de los alumnos a la reconstrucción del problema en el “paradigma-objetivo”. Estas descripciones corresponden a un análisis a posteriori dentro de nuestro marco conceptual general en función del estudio epistemológico de las disciplinas en cuestión. Sin embargo, no analizan las rupturas y los obstáculos que están en juego; esto se hará en el apartado siguiente.

- *Caso nº 1*

El primero de esos dispositivos es el presentado anteriormente (clase de CE2 sobre la nutrición humana). A fin de realizar este estudio comparativo destacaremos los siguientes elementos:

problematización mediante debate

- Los alumnos (grupos) produjeron explicaciones diferentes del funcionamiento, algunas de las cuales se aproximan a las que procura obtener el maestro; pero ninguna de ellas ha sido completamente problematizada: se trata esencialmente de una serie de opiniones. Para algunos, los alimentos permanecen en una bolsa, para otros se desplazan a través de conductos que sólo transportan alimentos (conductos alimenticios). Otros sostienen que los alimentos se distribuyen por el cuerpo a través de la sangre.
- El objetivo que nos guía es hacer pasar a los alumnos de una concepción sin distribución o, también, a la concepción de una distribución operada a través de conductos alimenticios, a una concepción de la distribución por vía sanguínea: se procura además que los alumnos comprendan las razones de la distribución (necesidades) y las posibilidades aceptables.
- Durante el debate, guiado por el maestro, los alumnos llegan a comparar sus producciones, a argumentar, a poner en duda elementos de sus explicaciones: los argumentos intercambiados son mecanicistas.

- Al finalizar el debate, la clase ha construido una representación del problema basada en lo necesario y en los posibles (véase la segunda parte de este artículo).

- *Caso nº 2*

Tomamos como segundo ejemplo un dispositivo-problema sobre el vulcanismo en zonas de subducción, desarrollado en Primero S* (Orange, D. y C., 1993; Orange, C. y D., 1993). La pregunta inicial es la siguiente: "¿A partir de qué y cómo se forma el magma que alimenta los volcanes de las zonas de subducción?".

problematización mediante debate y elemento crítico

— Inicialmente los alumnos produjeron explicaciones de funcionamiento diferentes; ninguna se aproxima a la que apunta el maestro, pues todas ellas explican la fusión del magma únicamente en virtud de la temperatura.
— El objetivo es hacer pasar a los alumnos de una explicación que se apoya únicamente en la temperatura, a una otra que haga intervenir diversos factores (temperatura, presión total, presión del agua).
— Durante el debate, la clase se pone de acuerdo, mediante argumentación, sobre una explicación común que no corresponde al saber que procura transmitir el profesor: el calentamiento provocado por el frotamiento de dos placas sería el responsable de la fusión. En ese momento, el docente debe aportar un elemento crítico a fin de desestabilizar esta concepción común. Se trata de documentos (isotermas y diagramas de fusión) que permiten que los alumnos pongan a prueba su modelo y tomen conciencia de que ese modelo es inadecuado (es necesario reconstruir el problema).
— Finalmente el profesor debe aportar una ayuda para que la clase reconstruya el problema (texto de Claude Allègre[17]) cuando los alumnos ya no son capaces de inventar por sí mismos otras respuestas posibles y de concebir las correspondientes necesidades.

* Primero (científico): Corresponde a la escuela secundaria (17 años de edad). [T.]

• *Caso nº 3*

El último ejemplo es el de un trabajo sobre la nutrición vegetal desarrollado en una clase de Segundo año*: se les pide a los alumnos que expliquen lo que debe absorber una planta de maíz del medio exterior y lo que debe hacer con esos elementos para pasar del estado de plántula al de planta adulta (Orange, 1994; Orange y Fabre, 1996; Orange, 1997).

problematización mediante discusión y proposición del maestro

— Los alumnos produjeron explicaciones iniciales diferentes. Algunas se aproximan bastante a las que procura obtener el docente, pero la mayor parte de ellas trasluce una concepción vitalista ingenua o sustancialista: el maíz brota, por lo tanto adquiere masa si está cómodo y/o si se lo provee de una sustancia "mágica" que lo hace crecer.[18]
— Objetivo: se trata de hacer que la mayor parte de los alumnos pase de una concepción vitalista o "mágica" de la nutrición y del crecimiento de los vegetales a una concepción relacionada con el flujo de materia y con las transformaciones químicas.
— Durante el debate, la clase discute; algunos alumnos hacen evolucionar su punto de vista, pero no se da ni argumentación ni confrontación en cuanto a los puntos que son fundamentales para el problema que hay que construir; tampoco hay una caracterización precisa de los diferentes puntos de vista, ni se llega a un acuerdo sobre una explicación común.
— El maestro aporta indicaciones y limitaciones complementarias (balance cuantitativo de materia, composiciones elementales) a fin de guiar a sus alumnos hacia un tipo de explicación; pero no se opone a las explicaciones de los estudiantes hasta el punto de colocarlas en una verdadera posición de dificultad; sólo puede guiarlos hacia otra forma de explicación.

¡Estos son sólo ejemplos! Sin embargo, corresponden a situaciones que dan cuenta de la mayor parte de los casos es-

* Corresponde a la escuela secundaria (16 años de edad). [T.]

tudiados y sus principales diferencias no pueden considerarse como una consecuencia de elecciones arbitrarias del maestro, como respuestas posibles intercambiables. Y ello se debe a diversas razones.

— Los análisis realizados a posteriori no ofrecen ninguna solución para situar todos estos casos dentro de un mismo plan de acción; en particular, no parece posible, en los casos 2 y 3, hacer construir la problemática deseada, sólo mediante el debate desarrollado a partir de las producciones iniciales de los alumnos.
— Se advierte cierto número de regularidades. Los casos como el estudiado anteriormente (el caso nº 1, limitado a un debate científico) son particularmente frecuentes en la escuela elemental y raros en la escuela secundaria; lo contrario ocurre con los otros dos casos.
— Las limitaciones que obligaron al profesor a adoptar tal o cual dispositivo aparentemente corresponden a las relaciones entre los conocimientos iniciales de los alumnos y los saberes a los que apunta la enseñanza.

Proponemos la siguiente explicación: en estos tres ejemplos, las rupturas que deben realizar los alumnos son de naturaleza diferente, lo cual explica la evolución diferente de la reconstrucción del problema.

tres procesos de problematización, ¿tres tipos de ruptura?

3.2. ¿Tres tipos de ruptura?

Partiendo de estos ejemplos, procuraremos definir tres tipos de ruptura mostrando los vínculos que existen entre las características epistemológicas y los procesos didácticos. Para simplificar, consideramos que una explicación corresponde a un razonamiento basado en inteligibles fundamentales, es decir, en elementos que en un momento dado, un individuo da por sentados (elementos autoexplicativos; véase Toulmin, S., 1973).

• *La ruptura metafísica*

Esta ruptura queda ilustrada por el ejemplo nº 3 (nutrición de los vegetales en Segundo año). Los alumnos deben pasar de una explicación casi mágica del crecimiento de los vegetales en virtud de "cualidades naturales", a una explicación mecanicista, en el sentido amplio (flujo). La ruptura que deben hacer corresponde a un verdadero cambio de *episteme* (Foucault, 1966), de paradigma explicativo (Toulmin, 1973) o de marco epistémico (Piaget y García, 1983). Estos son los inteligibles fundamentales de los alumnos que es necesario modificar.

cambiar los inteligibles fundamentales

En este caso, los dos marcos explicativos (el de partida y el marco al que se apunta) son inconmensurables, para retomar una expresión de T. Kuhn (1983, véase en particular, p. 204; véase también Toulmin, 1973: 65); es decir que para quienes sostienen uno y otro marco es imposible hacer competir sus puntos de vista divergentes en un debate argumentado. No se puede sencillamente mostrar la superioridad de una de las explicaciones, ni apelando a la razón, ni recurriendo a resultados empíricos: las concepciones de los alumnos son aptas para responder a todas las objeciones. Si no se toman las debidas precauciones, la mayor parte de las veces esto se traduce en un diálogo de sordos entre el docente y los alumnos, pues cada uno cree comprender lo que el otro quiere decir y lo interpreta a su manera.

La representación del problema que debe construirse es totalmente ajena a la representación espontánea de los alumnos. En resumidas cuentas, lo que estos deben lograr es un cambio metafísico de lo que quiere decir "explicar": un cambio de las grandes reglas del juego científico. Los obstáculos estriban, pues, en las concepciones del mundo que tienen los alumnos y en lo que es una buena explicación.

Para el profesor, se trata de convencer mediante argumentos o hechos, pero, más modestamente, lo que hace es invitar a intentar otro camino. Las informaciones complementarias que él aporta sirven precisamente para inducir a los alumnos a realizar tales intentos. La ruptura no puede ser inmediata. Eventualmente se producirá en virtud del uso repetido del nuevo marco explicativo.[19]

• *La ruptura incremental o de razonamiento*

En el ejemplo nº 2 (el vulcanismo en zonas de subducción en la clase Primero S), los alumnos trabajan desde el comienzo con explicaciones mecanicistas. La explicación a la que se los quiere hacer llegar no corresponde a otro *episteme*, a otra idea general de lo que quiere decir explicar ni, si se prefiere, a inteligibles fundamentales diferentes. Pero, los alumnos deben comprender y aceptar otro razonamiento, más complejo (con diversas variables) y menos común que el espontáneo que ellos aplican (fusión/temperatura). Para lograrlo deben construir nuevas estructuras mentales: la cuestión es incremental.

cambiar la forma de razonamiento

Desde el punto de vista de la representación del problema que ha de construirse, se trata de extender el espacio-problema inicial reconstruyendo su estructura y modificando ciertas limitaciones. Los obstáculos residen en las formas de razonamiento espontáneas y en el hecho de que los alumnos emplean cotidiana y eficazmente tales razonamientos.

Las rupturas incrementales se traducen didácticamente en dos características. Se puede hacer tomar conciencia a los alumnos de las limitaciones de su concepción; esto es así porque, siendo el *episteme* el mismo o, si se prefiere, siendo los dos paradigmas conmensurables, los alumnos y el profesor están más o menos de acuerdo desde el comienzo sobre qué es una explicación aceptable. Pero los estudiantes no pueden hallar por sí mismos y rápidamente la forma de razonamiento a la que se los quiere conducir porque el salto teórico es importante: una vez que ellos comprenden la necesidad de cambiar de explicación, es menester ayudarlos proponiéndoles pistas.

• *La ruptura "simple"*

En el primer ejemplo (nutrición humana en el CE*), la explicación de partida y la explicación a la que se apunta son, como en la categoría anterior, del mismo tipo, mecanicista.[20] Pero aquí los razonamientos que se oponen son ambos simples, lineales (razonamientos mecanicistas simples). Se trata de que los alumnos amplíen el campo de los posibles y de que tomen conciencia de las necesidades constitutivas del proble-

* CE: Ciclo elemental 1 y 2 (7 a 9 años de edad). [T.]

ma. La ruptura debe hacerse, pues, esencialmente entre las opiniones y el saber científico problematizado; algo muy sencillo puesto que, según Bachelard, ¡se trata de una ruptura fundamental![21] Existen obstáculos que están vinculados con los objetos estudiados, con su carga afectiva, técnica o simbólica y con las concepciones epistemológicas de los alumnos (¿qué es en ciencia un saber?).

identificar las necesidades y ampliar el campo de las posibilidades

En el caso de estas rupturas "simples", es de esperar que en las diferentes concepciones de los alumnos de la clase aparezca cierta variedad de explicaciones y de argumentos que enriquezcan el debate en el sentido deseado por el profesor, puesto que son explicaciones y argumentos que están en el mismo plano del razonamiento buscado. Esto explica que la problematización pueda desarrollarse en gran medida dentro de un debate organizado y regulado por el maestro. La frecuencia de este tipo de funcionamiento en el seno de la escuela primaria podría explicarse en virtud de que allí se da una presión menos intensa que en los niveles medios o superiores sobre los saberes que es necesario alcanzar.

3.4. Conclusiones

Este primer intento de esbozar una tipología de las rupturas tiene la única intención de hacer progresar la discusión sobre algo que cada vez se presenta más evidentemente como una necesidad: clarificar los diferentes cambios conceptuales que deben realizar los alumnos y sus vínculos con la reconstrucción de problemas. Parece verosímil que los tipos propuestos, que no son necesariamente exhaustivos, constituyan más bien polos que categorías, pues una ruptura real dada puede ser una combinación de estos tipos diferentes. Para avanzar un poco más, sería necesario elaborar, en cada disciplina, un panorama de las rupturas que habría que efectuar a lo largo de todo el ciclo escolar y establecer además cómo articular el trabajo sobre estas rupturas y sobre los obstáculos correspondientes.

De esta tipología no debe deducirse apresuradamente que su orden represente una escala de dificultad de las rupturas. En la medida en que el docente pueda proponer a sus alumnos

ayudas que les eviten invenciones que, históricamente, han implicado un empleo importante de tiempo y numerosos rodeos, no es seguro que la dificultad de una ruptura o la importancia de los obstáculos asociados puedan situarse únicamente dentro de estos criterios epistemológicos. En los objetos y fenómenos estudiados siempre participan una serie de cargas simbólicas que pueden resultar más importantes, por ejemplo, en una ruptura de las llamadas simples que en una ruptura incremental.

En cuanto a las rupturas metafísicas, uno podría preguntarse si corresponden a un tratamiento didáctico de tipo situación-problema que procure provocar el cuestionamiento de las representaciones (véase Astolfi, 1994; Astolfi y Peterfalvi, 1993): la fisura no puede darse directamente y la conversión corresponde tanto al hábito intelectual como a la toma de conciencia.

Por último, recordemos que, en nuestra opinión, los aprendizajes científicos no se limitan a las rupturas; es necesario desarrollar aprendizajes normales (Orange, C. y D., 1993) en el interior del paradigma de la clase, a medida que este se va constituyendo.

Conclusiones

- *De la resolución de problemas a la problematización*

Por razones que corresponden a la vez a las características epistemológicas de los saberes científicos y a las condiciones psicológicas de la superación de obstáculos, nos parece que para poder tomar en consideración el cambio conceptual en didáctica de las ciencias son necesarios dispositivos que contribuyan a la problematización y no sólo a resolver los problemas. En nuestra opinión, el alumno sólo puede dar sentido a los conocimientos científicos si los aprende como soluciones posibles de problemáticas elaboradas en clase.

- *El concepto de construcción del espacio-problema*

El concepto de construcción del espacio-problema nos parece una herramienta formal teórica y metodológicamente interesante para el estudio y la regulación didáctica de los debates científicos que se desarrollan en clase.

Una vía de investigación fecunda consistiría en elaborar y confrontar, en relación con saberes precisos (como la nutrición

animal o vegetal, el vulcanismo...) los diferentes espacios-problemas: puntos de vista de expertos (las problemáticas del hombre de ciencia, del didacta, del docente) o de novatos (las problemáticas obtenidas en clase). ¿Qué utilidad podrían tener tales herramientas? Ante todo, permitirían anticipar el debate científico: prever los pasos obligados de la construcción del problema, las preguntas que necesariamente deben formularse los alumnos, las respuestas posibles. Contando con estos elementos, el docente podría tener mejores perspectivas para regular el debate científico. Finalmente, el análisis a posteriori debería permitir comparar el espacio-problema previsto y el espacio-problema realmente construido por la clase o por algún alumno. En la agenda del enseñante, estos instrumentos podrían funcionar —junto con el repertorio de análisis de las representaciones primarias— como esquemas de anticipación y de regulación didácticas.

- *Hacia una tipología de las rupturas*

Si bien la construcción de problemas siempre puede describirse dentro de un espacio-problema, es cierto que se realiza de manera diferente según el tipo de cambio conceptual que esté en juego. Por consiguiente, proponemos distinguir tres tipos de rupturas. En su forma "simple", la ruptura tiene lugar entre un saber privado, no problematizado, y el saber científico. La ruptura incremental o de razonamiento caracteriza un cambio de tipo de razonamiento que exige adoptar nuevas estructuras mentales. Finalmente, la ruptura metafísica se produce entre dos sistemas explicativos inconmensurables, como por ejemplo el pensamiento mágico y el pensamiento mecánico. Estos tres tipos de rupturas, de características epistemológicas bien identificables, no implican los mismos procesos de cambios conceptuales y ciertamente exigen tratamientos didácticos diferentes.

Michel Fabre
Universidad de Nantes, CREN
Christian Orange, IUFM des Pays de la Loire (Nantes),
CREN

Notas

1. Pensamos, particularmente, en los trabajos de Posner y Strike, que estudian los cambios conceptuales independientemente de toda referencia a los obstáculos bachelardianos (Posner et al. 1982).
2. Al enfrentarse con un problema, el alumno lo construirá de manera privada a fin de ofrecer una primera respuesta. Los dispositivos didácticos del tipo "situación-problema", pueden entenderse como medios de obligar al alumno a reconstruir el problema precisando limitaciones y/o posibilidades que él no haya identificado espontáneamente.
3. Compartimos por completo el punto de vista de Toulmin según el cual el objeto de la ciencia es ante todo explicar: "La previsión es pues un saber hacer, una técnica, una aplicación de la ciencia antes que la ciencia misma" (Toulmin, 1973: 40).
4. Para Kuhn (1983), un problema normal es un problema tratado dentro de un paradigma ya constituido. Nosotros propusimos extender este concepto a la didáctica (Orange, C. y D., 1993) distinguiendo los problemas de ruptura, que permiten a los alumnos y a la clase en su conjunto tener acceso a un paradigma, y los problemas normales, que hay que ordenar en el interior de un paradigma ya construido e identificado.
5. "La ciencia ... se opone absolutamente a la opinión... La opinión piensa mal, no piensa: traduce necesidades a conocimientos" (Bachelard, 1938: 14).
6. "Por un hábito curioso, lo apodíctico envejecido toma gusto por lo asertorio, el hecho de razón permanece sin el aparato de razones" (Bachelard, 1938: 247; Fabre, 1995, caps. VI y VII).
7. Marco teórico definido por el docente cuando fija sus objetivos. Los alumnos construyen el problema, pero el profesor continúa siendo el garante de un cuadro teórico científico adecuado.
8. Se trata en ese caso de una justificación epistemológica del debate en la clase, en tanto que la argumentación en favor de los conflictos sociocognitivos es de naturaleza psicológica. Es interesante destacar que estos dos puntos de vista pueden complementarse.
9. Se puede llamar paradigma de la clase a un conjunto de conocimientos sobre un asunto dado, conscientemente compartido por la clase y que resulta útil como referencia para dominar nuevos problemas (problemas normales).
10. En nuestros trabajos anteriores la caracterizamos como una problemática que se efectúa en una modalidad particular: la de lo problemático (Fabre, 1993).

11. Entre (a) y (b), ¿cuál es la significación científica de la transposición didáctica? Entre (c) y (d) el espacio-problema que ve el docente, ¿coincide con el del didacta? Entre (c) y (d), ¿tiene el enseñante una visión objetiva del debate científico? Entre (d) o (e) y (b), ¿el debate científico permitió al conjunto de la clase o a tal alumno construir los problemas esperados por el didacta? Entre (d) y (e), ¿cómo situar la problematización "privada" de un alumno en relación con el debate científico de la clase?
12. En el problema llamado de la torre de Hanoi, se presenta una tablilla con tres varillas verticales. En la primera se ensartan tres discos de diferentes tamaños (el mayor debajo y el más pequeño arriba). El juego consiste en pasar de este estado inicial a un estado final en el que los discos aparecen colocados de mayor a menor en una de las otras dos varillas. Las reglas son las siguientes:

    — sólo se puede desplazar un disco por vez;
    — sólo se puede desplazar el disco que está arriba;
    — no se puede colocar un disco sobre otro más pequeño.

    El conjunto de estas limitaciones y las posibilidades que dejan abiertas definen el espacio-problema (Richard, 1990).

13. Naturalmente, podrían darse descripciones más detalladas de tal o cual punto del debate.
14. Lo que "no está en cuestión" es aquello que no se pone en tela de juicio durante el debate.
15. Para dar un paso más sería necesaria una representación del espacio-problema independiente de las contingencias del debate (es decir, un "mapa" de este espacio-problema y no solamente un itinerario de exploración); actualmente estamos trabajando en ello.
16. Es decir, el paradigma al cual el docente intenta conducir a la clase.
17. Al hacer referencia a experiencias hechas en laboratorio, este texto precisa los parámetros que se aplican a la fusión de las rocas (Allègre, 1987: 103).
18. Se trata de explicaciones basadas esencialmente en el hecho de que el vegetal brota "por naturaleza" (vitalismo ingenuo) o por la acción de algo (sustancia, energía...) que tiene la propiedad de contribuir a este crecimiento (sustancialismo). Veamos algunos ejemplos:

    Las sales minerales y el agua están en la savia... La savia circula por las nervaduras... La savia mantiene, conserva, la plántula con vida. Los

fertilizantes *sirven para varias cosas; para hacer que el maíz crezca fuerte, como debe hacerlo, y para protegerlo contra lo que lo destruye. Las sales minerales, son vitaminas, dan energía.*

19. Hay que admitir que aquí se trata de "imponer" cierta cultura científica sin otra razón que la de conducir al alumno a la cultura científica actual. Para ir más lejos sería menester trabajar con la clase sobre la historia de las ideas.
20. La principal razón para afirmar que todos alumnos proponen desde el principio explicaciones mecanicistas reside en los argumentos que se intercambian a lo largo del debate: son de naturaleza mecanicista (cambio de tamaño, trayecto de los alimentos, modificación física de esos alimentos), cosa que en modo alguno ocurre cuando se realiza un trabajo sobre una "ruptura metafísica".
21. En los otros tipos de rupturas, también se trata en general de una ruptura "fundamental" entre opinión y saber científico. Pero aquellas presentan además otra forma de dificultad (conversión o modo de razonamiento). En este sentido utilizamos aquí la expresión "ruptura simple", a falta de otra más pertinente. Pero, a causa de los obstáculos asociados con ella, esta ruptura "simple" no es necesariamente fácil de efectuar.

Referencias bibliográfícas

Allègre, Claude. 1987. *Les fureurs de la Terre.* París, Odile Jacob. [*Las iras de la tierra*. Madrid, Ediciones del Prado, 1995.]

Astolfi, Jean-Pierre. 1994. Situation-problème, en *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation.* París, Nathan.

Astolfi, Jean-Pierre y Peterfalvi, Brigitte. 1993. "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16: 103-140.

Bachelard, Gaston. 1986 (1938). *La formation de l'esprit scientifique.* París, Vrin. [*La formación del espíritu científico.* Barcelona. Planeta-De Agostini, 1985.]

Canguilhem, Georges. 1975. Vie, en *Encyclopaedia Universalis.* París.

Fabre, Michel. 1995. *Bachelard éducateur.* París, PUF.

Fabre, Michel. 1993 De la résolution de problèmes à la problématisation, "DIDACTIQUE IV", Statut et function du problème dans l'enseignement des sciences. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 4-5.

Foucault, Michel. 1966. *Les mots et les choses*. París, Gallimard. [*Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas.* Madrid, Siglo XXI de España Editores, 1999.]

Grize, Jean-Blaise. 1990. *Logique et langage*. Ophrys.
Jacob, François. 1980. *Le jeu des possibles*. París, Fayard.
Johsua, Samuel y Dupin, Jean-Jacques. 1993. *Introduction à la didactique des sciences*. París, PUF.
Johsua, Samuel y Dupin, Jean-Jacques. 1989. Répresentations et modélisations, le "débat scientifique" dans la classe... Berna, Peter Lang.
Kuhn, Thomas. 1983. *La structure des révolutions scientifiques*. París, Flammarion. [*La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid, Fondo de Cultura Económica de España, 1990.]
Meyer, Michel. 1986. *De la problématologie, philosophie, science et langage*. Bruselas, Mardaga.
Meyer, Michel. 1979. *Découverte et justification en science*. París, Klincksieck.
Orange, Christian y Fabre, Michel (coords.). 1996. Informe de investigación del GFR, *Place du problème dans l'einsegnement et l'apprentissage de la biologie-géologie*. MAFPEN y IUFM de la academia de Caen (informe interno IUFM, MAFPEN, CERSE).
Orange, Christian y Orange, Denise. 1993. Problèmes de ruptures, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*. Caen, 4-5: 51-69.
Orange, Christian. 1997. *Problèmes et modélisation en biologie*. París, PUF.
Orange, Christian. 1994. *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie géologie*. Tesis de doctorado, París 7.
Orange, Denise y Orange, Christian. 1993. La mise en oeuvre d'une situation-problème en géologie. *Biologie géologie* (boletín APBG), 3: 547-555.
Piaget, Jean y García, Rolando. 1983. *Psychognèse et histoire des sciences*. París, Flammarion.
Polya, George. 1965. *Comment poser et résoudre un problème?* París, Editions Jacques Gabay.
Popper, Karl. 1985. *Conjetures et réfutations*. París, Payot. [*Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico*. Barcelona, Ediciones Paidós Ibérica, 1994.]
Posner, George et al. 1982. Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2): 211-227.
Richard, Jean-François. 1990. *Les activités mentales*. París, Armand Colin.
Toulmin, Stephen. 1973 (1961). *L'explication scientifique*, París, Armand Colin.

3

Empleo de objetos museológicos para tratar los obstáculos en la esfera de las ciencias y la técnica

Jack Guichard
Françoise Guichard

Los objetos de exposición, a causa del impacto emocional que producen o de las estrategias interactivas que proponen, pueden colocar a niños y jóvenes en situación de revisar sus concepciones y en particular de hacer vacilar algunos de los obstáculos. Este tipo de situación puede producirse cuando los creadores de la exposición se apoyan en un buen conocimiento de tales obstáculos.
Experiencias llevadas a cabo tanto en las exposiciones para jóvenes de la "Ciudad de las Ciencias y la Industria" por el equipo "ciudad de los niños", como en el Museo Nacional de Historia Natural de París durante la prefiguración de la Gran Galería de la Evolución, muestran el interés de reunir previamente informaciones que permiten conocer las concepciones de los niños, y privilegiar en cada caso soluciones museográficas que los incitan a la actividad sin reforzar los obstáculos ni crear otros nuevos. Así es como se han concebido cierta cantidad de elementos interactivos de exposición partiendo del análisis de tales obstáculos en diferentes terrenos científicos y técnicos.

En el ámbito escolar se sabe desde hace tiempo la importancia que tienen los obstáculos para la construcción de conocimientos. En cambio en el terreno de la museología de las ciencias y las técnicas, por lo tanto en un marco de educación informal, se han realizado pocas experiencias. En efecto, en los espacios de ocio educativo, que son por su naturaleza misma lugares de libertad, cada uno conduce sus descubrimientos a su propio ritmo y en función de sus preocupaciones y de las solicitaciones del momento. El éxito de la exposición ante el público joven está vinculado con la capacidad que tiene la muestra de tomar en consideración las prácticas espontáneas y las concepciones de los jóvenes.

La "ciudad de los niños" y luego la sala de descubrimiento de la Gran Galería de la Evolución del Museo Nacional de Historia Natural de París se construyeron sobre un supuesto pedagógico fundado en el hecho de que cada uno construye su propio saber a partir de elementos nuevos que asocia a los que ya posee. La creación se apoyó asimismo en el conocimiento de las concepciones de los niños a fin de elaborar elementos de exposición que modifiquen tales concepciones llamando la atención sobre elementos fundamentales, objetivo que se logra creando situaciones de interactividad. Algunas investigaciones demostraron que los objetos de exposición, ya sea por el impacto emocional que provocan, ya sea por las estrategias interactivas que proponen, pueden colocar a niños y jóvenes en posición de cuestionar sus concepciones y hasta de hacer tambalear ciertos obstáculos.

estudios para la creación de objetos de exposición...

El objeto de este artículo es mostrar que el procedimiento de creación de una exposición puede apoyarse en el conocimiento y el análisis de esos obstáculos a fin de indagar e instalar situaciones activas de descubrimiento para el público. Lo que se quiere señalar es el interés que tiene reunir previamente informaciones que permiten conocer las concepciones de los niños, así como privilegiar en cada caso soluciones museográficas que los inciten a la actividad sin reforzar los obstáculos ni crear otros nuevos. Estas situaciones, centradas en los aspectos que constituyen un obs-

...que se apoyan en el conocimiento y el análisis de los obstáculos

táculo, pueden contribuir a hacer evolucionar las concepciones de los niños sobre los temas a que se hace referencia.

1. Una problemática didáctica aplicada a situaciones de visita a una exposición

Desde hace tiempo las investigaciones en didáctica de las ciencias muestran que una verdadera educación científica supone una participación efectiva del niño en el descubrimiento, en la construcción y en la aplicación del saber. Hay estudios que demuestran claramente que el saber no se transmite si no se tiene en cuenta ese aspecto. Pero, ¿qué hay de todo esto en el campo de la museología científica que generalmente se decide entre hombres de ciencias y arquitectos y donde rara vez se tiene en cuenta a los pedagogos (Triquet, 1993)? Afortunadamente existen excepciones y este artículo es la prueba de ello.

1.1. Las investigaciones realizadas en didáctica de las ciencias sobre las concepciones del alumno

En el que aprende, como en el investigador, el pensamiento científico progresa de manera dialéctica en virtud de revisiones sucesivas (Bachelard, 1938). Ese pensamiento supone poner en tela de juicio las concepciones.

Numerosos estudios, en particular los de Giordan y De Vecchi (1987) han hecho comprobaciones sobre las concepciones de los aprendices y muestran qué importante es tomarlas en cuenta durante la enseñanza. Los niños interpretan los fenómenos a través de su propio "marco de referencia". En el seno de una población el número de ideas no es infinito y puede agruparse en algunos grandes tipos (Sutton, 1982). El aprendizaje depende de esas ideas; el que aprende interpreta las nuevas informaciones a través de ellas. Si no se tiene esto en cuenta, el nuevo saber queda aislado del saber anterior y no logra modificarlo. Además, algunas de estas ideas han demostrado ser obstáculos para la construcción de los saberes.

El conocimiento de las ideas de los niños permite investigar estrategias pedagógicas más eficaces. Se trata, pues, no sólo

de estudiar las ideas infantiles, sino de tomar conciencia de los obstáculos que es necesario superar con el fin de centrar los objetivos en esos obstáculos (Martinand, 1989).

1.2. ¿Puede transponerse la situación de aprendizaje al marco de una exposición?

Las condiciones de los estudios precedentes no corresponden a la visita a una exposición, aun cuando ciertas experiencias como las relacionadas con las concepciones de quienes aprenden no dependen del lugar donde se desarrollen y parecen poder trasponerse de un ámbito a otro (Giordan, 1988).

El problema del museo es que se trata de un lugar de educación informal donde resulta imposible construir un trabajo continuo con la persona que aprende como se puede hacer en la escuela. Lo cual no impide que las concepciones puedan utilizarse como un "medio de conocer" y de seleccionar los elementos que habrán de emplearse (Borun, 1982, 1993). Falta saber cómo se arma una creación museológica teniendo en cuenta estas concepciones.

> conocer las concepciones y los obstáculos para crear una exposición

Las investigaciones sobre la recepción de las exposiciones comenzaron a aparecer en la década de 1970 en el marco de reflexiones sobre el papel educativo de los museos.

Para Screven (1976, 1983), quien concibe la muestra comienza la evaluación definiendo los objetivos de la presentación (¿cuáles son los principales elementos del mensaje que se transmite al público?); luego procura establecer un conocimiento del público al que apunta (orígenes socioprofesionales, expectativas pedagógicas, grado de motivación) y en particular investigar las concepciones del público: este llega con ideas falsas o se las forja durante la visita; una evaluación de prototipo sólo puede dar ciertas indicaciones en relación con esta última cuestión. Griggs investigó la validez de predicción de la evaluación formativa en el Museo Británico (Griggs, 1983). Pero su evaluación formativa se limita a maquetas, presentadas en forma de paneles, en tanto que para nosotros este debe ser un enfoque tridimensional, como el de la exposición.

1.3. Una metodología adaptada al contexto de la organización de la exposición

Apoyándonos en la problemática de la evaluación formativa y de la atención prestada a las ideas de quienes aprenden, desarrollamos y pusimos a prueba diversas situaciones que permiten hacer evolucionar de manera duradera las concepciones de los niños (Guichard, 1990). Si bien este proceso se desarrolla en un contexto diferente del de la escuela, es complementario de aquel y apunta a los mismos objetivos de construcción de los saberes.

En efecto, nuestro estudio se realizó en una exposición interactiva para niños —la "ciudad de los niños" de la Ciudad de las Ciencias y la Industria de París (Guichard, J., 1993)— y para la concepción de la sala de descubrimiento de la Gran Galería de la Evolución del Museo Nacional de Historia Natural de París (Guichard y Leclercq). Ambas son exposiciones en las que el niño es actor de sus descubrimientos y en las cuales los elementos de exposición fueron concebidos con la intención de incitar al visitante a observar, manipular y experimentar.

> la evaluación formativa, un instrumento útil para los creadores de exposiciones

1.4. Investigar las concepciones de los visitantes a fin de transformar un tema científico en objeto de exposición

El creador de la exposición es el responsable de la elección de los conocimientos y de su organización. Pero la creación puede "regularse teniendo en cuenta el punto de vista del visitante". Lo fundamental continúa siendo que la exposición interroga, suscita la curiosidad, plantea problemas, motiva al visitante a saber más y lo impulsa a consultar otros soportes mediáticos (libros, revistas, audiovisuales...).

> trasponer un saber a fin de comunicarlo a los visitantes...

Lo más importante no son solamente los mensajes, sino también la forma que se les da a las herramientas de comuni-

cación elegidas: desde la puesta en escena de los elementos al diseño de los objetos, pasando por los mensajes gráficos "supersignificativos": los visitantes percibirán primero estos componentes y lo harán teniendo en cuenta prácticas de referencia a las cuales deben poder agregar sus nuevos descubrimientos; por ello el museólogo emplea estrategias destinadas a crear situaciones de inducción que favorezcan la construcción del sentido por parte del público.

Cuando la exposición abre sus puertas, el visitante descubre un universo "que explora en función de sus propios conocimientos, mediante sus propios procedimientos, con sus propias actitudes y en función de sus propios cuestionamientos (Natali y Martinand, 1987).

El principio mismo de las investigaciones llevadas a cabo en un lugar de educación informal se basa en tomar en consideración las concepciones de los niños. En efecto, quien concibe un elemento de exposición, como quien concibe cualquier material pedagógico, efectúa una trasposición del tema científico en función de sus propias prácticas de referencia. El visitante de la exposición (niño o alumno) descifrará el objeto de exposición en función de sus propias concepciones, que seguramente no son las del creador de la exposición. Tampoco el sentido que perciba coincidirá necesariamente con el que le atribuyó el creador del objeto, sobre todo si alumno y expositor no tienen las concepciones sobre el tema. Y particularmente si los elementos constituyen obstáculos, el visitante puede transformar por completo el sentido de lo que se le propone.

...exige indagar sus concepciones

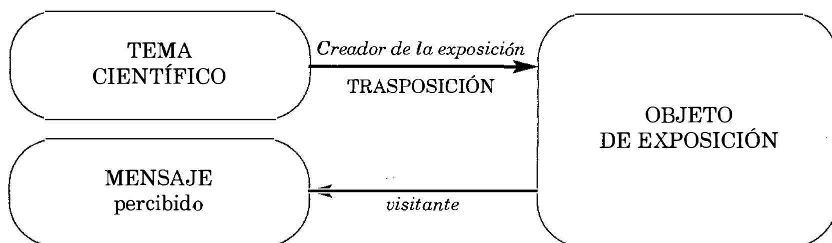


Figura 1. Del tema científico al mensaje percibido a través del objeto de exposición

Es importante, pues, que tanto el creador de la exposición como el docente indaguen y tengan en cuenta las concepciones de los niños y conozcan los obstáculos eventuales (Guichard, 1990).

el visitante descifra el objeto de exposición en función de su propio sistema de referencia...

La realización de objetos de exposición no es en sí misma una investigación en didáctica, pero las indagaciones permiten informar a los museólogos sobre las concepciones de los visitantes y sobre los eventuales obstáculos. La transformación en objetos de los temas de la exposición es entonces un trabajo de creación que puede apoyarse en los elementos descubiertos durante las investigaciones para inventar situaciones problemas adaptadas.

1.5. Una evaluación diagnóstica

En el terreno de la creación de exposiciones es interesante indagar los vínculos que se dan entre las conductas observadas y el contexto museológico que las indujo. Por lo tanto, el plan de evaluación no está completamente elaborado a priori, sino que evoluciona continuamente en función de las interacciones entre el evaluador, quien concibió la muestra, el público y las limitaciones técnicas de la realización museológica (Wolf y Tymitz, 1978). Las hipótesis van surgiendo en el curso del estudio. Sondeos y entrevistas constituyen las metodologías esenciales de estas evaluaciones cualitativas. Este método es particularmente interesante en los primeros estadios de una investigación, cuando la problemática no está aún muy clara.

...que por lo tanto es necesario conocer

En los estudios que presentamos seguidamente efectuamos tests previos y posteriores de naturaleza idéntica: cuestionario con forma de dibujo o de texto escrito para responder a lo que se pide (ejemplo "dibuja el esqueleto en la silueta propuesta en la hoja de papel"), seguido de la entrevista a un grupo muestra de estudiantes para interpretar los resultados.

Los tests previos se realizaron entre grupos de niños, antes de toda aproximación al tema en cuestión. Durante el test de

prototipo apelamos a la observación directa de las acciones y los comentarios hechos por los niños. Los tests ulteriores se propusieron después de haber creado una situación ante un objeto de la exposición.

> una evaluación diagnóstica con tests previos y ulteriores

En el caso de la "ciudad de los niños", el procedimiento empleado fue comparar las concepciones que tenían los niños antes y después de pasar ante el elemento de exposición. A fin de no descuidar el impacto que pudieran tener los tests previos en la apropiación del elemento de exposición, la mayor parte de los tests posteriores se realizaron sobre muestras de público de la misma naturaleza, pero que no habían respondido a un test previo; en efecto, el hecho de someterse a un test previo, que es en sí mismo un método pedagógico, transforma el modo como el visitante capta un elemento de la exposición. Además, a fin de poder apreciar el impacto duradero del aprendizaje algunos tests posteriores se hicieron seis meses después y sin previo aviso.

No todos los resultados que expondremos a continuación corresponden a estudios de la misma amplitud. Algunos surgieron de estudios más profundos, como por ejemplo los referentes al cuerpo: otros corresponden a encuestas más rápidas, pero en casi todos los casos, se trata de estudios cualitativos.

2. Conocer los obstáculos a fin de tenerlos en cuenta al crear los objetos de exposición

Los principios que se aplican en la creación de exposiciones interactivas para niños procuran establecer situaciones que induzcan un cuestionamiento funcional por parte del público. Este es el principio de la interactividad. Este proceso de cuestionamiento corresponde a la base de todo procedimiento científico. En cierto número de casos, tratamos de aplicarlo concentrándonos en obstáculos identificados.

> el proceso de cuestionamiento

2.1. Comparar libremente las propias ideas con la realidad en el marco de la exposición

El proceso que permitió concebir la "ciudad de los niños", así como el espacio infantil de la exposición "Hemos caminado sobre la Tierra" del Museo Nacional de Historia Natural de París, implicó tomar en consideración las concepciones y las preguntas de los niños, así como los obstáculos que traban la comprensión de los fenómenos presentados.

La indagación de las concepciones, pero también de los obstáculos identificables en ciertos casos por las reacciones de niños que ya habían recibido una enseñanza sobre el tema, permitió concentrar la problemática en dichos aspectos y elaborar una puesta en escena adecuada. Los resultados de esos estudios permitieron a los creadores de los elementos de exposición elegir los temas científicos y reflexionar sobre los mejores medios de presentarlos. Estos medios aprovechan la puesta en escena para provocar la emoción que podrá marcar de manera duradera el recuerdo en el niño (Guichard, 1996). Particularmente se procuró desarrollar aprendizajes en actos (Weil-Barais, 1994) centrados en algunos de los obstáculos reconocidos.

> provocar la emoción a fin de remarcar el recuerdo

Una investigación realizada por el equipo de P. Clément sobre *"Haz tu carné de identidad"* muestra que la situación interactiva favorece los aprendizajes por el método de prueba y error: el alumno tiene derecho a equivocarse y derecho a recomenzar su acción varias veces sin ser juzgado (Abrougui, 1994). Esta característica de la exposición es particularmente importante en relación con el contexto escolar. La situación ideal corresponde a una manipulación que obliga a un tanteo experimental en el que es necesario probar las propias hipótesis y comprender progresivamente mientras se actúa. Este análisis se efectuó en el caso del "brazo de elevador mecánico" (Vignes, 1994), donde el éxito de la manipulación depende de la comprensión de los principios técnicos que están en juego y en el que el niño descubre el proceso por el método de ensayo y error, motivado

> manipulaciones destinadas a provocar un tanteo experimental

por la meta última de la manipulación: meter la pelota en la canasta por intermedio de ese brazo mecánico.

2.2. Tener en cuenta los obstáculos sobre la clasificación de los animales a fin de concebir situaciones de juego

La sistemática, que representa una base de conocimiento muy útil en biología, se opone a las concepciones preexistentes de los niños y hasta de ciertos adultos. La mayor parte de los niños (entre 5 y 10 años) creen que todos los animales de cuatro patas son mamíferos. También incluyen entre ellos algunos reptiles como los cocodrilos o las tortugas. En cambio, salvo raras excepciones, no incluyen animales acuáticos como el delfín y sobre todo la ballena. Estas concepciones aparecen incluso en niños que en años anteriores han recibido cierta enseñanza sobre el tema y conocen aproximadamente la definición de los mamíferos, y casi en la mitad de los adultos interrogados. Estas clasificaciones espontáneas corresponden a obstáculos del tipo de la autocentración, o la valorización de las primeras apariencias. Los mamíferos se identifican con los más conocidos, es decir con animales de cuatro patas. Por otra parte, los animales acuáticos con cuerpo de forma hidrodinámica se asimilan en su conjunto a los peces, lo cual lleva a los niños a incluir entre ellos a la ballena y a veces al delfín (la divulgación, a través de los medios, de la inteligencia de los delfines reduce la amplitud de esta concepción).

> juegos de clasificación construidos alrededor de los obstáculos en relación con la sistemática

Además, se puede observar que la autocentración conduce a dos tipos de concepciones aparentemente contradictorias:

— el antropomorfismo que lleva a ver el mundo mediante un proceso de proyección de la imagen de uno mismo,
— la disociación del hombre en relación con los animales en virtud de una combinación entre el autocentración y la sobrevaloración de uno mismo.

En efecto, los niños pequeños excluyen al hombre de la clase de los mamíferos y es muy difícil hacer evolucionar esta

concepción, aun ante situaciones problemas como las que se construyen en la exposición.

Las dos visiones precedentes se niegan a considerar al hombre como un animal, lo que supondría a la vez perder la condición central y una neutralidad desde el punto de vista de los valores.

Este hallazgo nos llevó a buscar un modo de hacer vacilar esa visión: incluir al propio niño (que se ve reflejado en un espejo) en un juego de clasificación de mamíferos. Esta manipulación prototipo lleva a los niños, mediante un proceso de pruebas y verificaciones sucesivas, a situar los dibujos de mamíferos en "la casa de los mamíferos" y a colocar los otros fuera de ella. Para hacer el ejercicio, los participantes cuentan con una serie de indicadores. Pueden verificar sus respuestas al dorso de la lámina. Este juego permite cotejar las concepciones con una observación de imágenes mediante el aprendizaje de criterios que deben utilizar en la clasificación. Las informaciones que se oponen a sus concepciones previas sorprenden a los niños y los incitan a modificarlas. Una discusión con otros niños o con algún adulto refuerza esa modificación. Los intercambios con el adulto son fundamentales para fortalecer los hallazgos hechos en la exposición. Este tipo de juego es un potente disparador de motivación para afinar la observación y un testimonio que afianza el recuerdo de los descubrimientos. Cuanto más sorprendentes les resulten estos últimos, tanto mayor es la huella que dejan en los niños, como lo demostraron los tests realizados con posterioridad.

Sondeos realizados entre los niños muestran que la mayor parte de ellos no agrupan espontáneamente en el renglón correspondiente a "vertebrados" a los animales que consideran blandos, como los anfibios (ranas, sapos), los reptiles como las serpientes y, por supuesto, los peces. Espontáneamente agrupan a estos animales junto con los caracoles y las medusas que no son vertebrados. En parte, se trata de falta de conocimiento, pero también de un obstáculo de autocentración del mismo tipo que se presenta en el caso de la clasificación de los mamíferos. Los niños confían en las apariencias primarias (de un lado, están los "grandes" animales, que parecen fornidos y de cuerpo "duro", y

> crear un efecto de sorpresa a fin de suscitar el cuestionamiento

del otro, los que corresponden a los criterios "pequeño" o "blando"). Sus criterios de clasificación se basan espontáneamente en criterios exteriores directamente perceptibles y no en los criterios del biólogo que no son visibles directamente. De modo que es menester incitarlos a tomar conciencia de estos otros criterios aprovechando el efecto de sorpresa que es emocional y por lo tanto motor de memorización. Esta idea llevó a crear juegos de clasificación en los que los niños tienen que agrupar de un lado los invertebrados y, del otro, los vertebrados y verificar su respuesta descubriendo en la imagen del animal un esquema del corte de su cuerpo que presenta o no su esqueleto interno. La sorpresa que depara un descubrimiento que se opone a sus concepciones hace nacer un cuestionamiento, de modo que el animador debe hacer explícita la noción de esqueleto.



Figura 2. Elemento de exposición *"¿Tienen esqueleto?"* del Museo de París (sala de descubrimiento de la exposición "On a marché sur la terre")

En este caso, el término "esqueleto" no se aplica únicamente a los huesos de los vertebrados, sino también a todo elemento rígido que sostenga a animales y vegetales (concha, caparazón, madera...)

Volvemos a encontrar el mismo tipo de obstáculo en el caso de las distinciones entre los animales que los niños agrupan con el nombre de “animales pequeños”. Podría creerse que se trata simplemente de falta de conocimientos, pero esta concepción persiste entre muchos adultos que, sin embargo, en el curso de sus estudios recibieron nociones de sistemática. El contexto de la experiencia durante la creación de la exposición no nos permitió profundizar el análisis. Esta observación condujo a una manipulación del mismo nombre, que invita a los niños a distinguir insectos, arañas y ciempiés mediante mensajes sonoros desencadenados por los intentos de clasificación y los remite al recuento del número de patas, en realidad al descubrimiento de un criterio discriminante que enriquece sus conocimientos acerca de estos animales y puede hacer evolucionar una concepción.

Otro obstáculo, este verbal, reforzado por el lenguaje popular, hace que los niños consideren a la rata como la hembra del ratón, al sapo como el macho de la rana y hasta al búho como el macho de la lechuza. Es un obstáculo tenaz, pues esta última concepción aparece, por otra parte, ¡entre muchos adultos!

A fin de tratar de hacer evolucionar estas concepciones procuramos confrontarlas con la definición de la especie biológica, que se especifica como la posibilidad de tener una descendencia fértil. Así fue como se elaboró un juego de asociación macho-hembra: el que se encuentra en la sala de descubrimiento de la Gran Galería de la Evolución (Guichard y Leclercq, 1994). Los conocimientos, espontáneamente correctos y espontáneamente errados, de las parejas de animales que manifiestan los niños permitieron elegir las especies que convenía mostrar en el juego. Así se presentan ciertas especies que les son conocidas para despertar en ellos el deseo de jugar, y otras desconocidas para sorprenderlos e incitarlos a preguntar y a descubrir los datos que se oponen a sus concepciones. Los niños descubren “el hijito” que los animales pueden tener juntos o la imposibilidad de tener descendencia cuando se trata de especies diferentes. Los tests de este juego mostraron el efecto de sorpresa y el cuestionamiento inducido, vector de investigación y de aprendizaje.

2.3. Descubrimiento de los obstáculos a través de una situación que permite desarrollar una simulación

Un obstáculo importante para la construcción del concepto de ecosistema es el que presenta la autocentración que conduce a concepciones antropomórficas sobre las relaciones tróficas que se dan entre los animales en la naturaleza. Un test previo propuesto a un centenar de niños de París de entre 7 y 9 años demostró que no percibían la necesidad de una interacción alimentaria entre los animales de un ecosistema y que tenían una visión antropomórfica idílica de la situación de los animales en la naturaleza: ellos no deben comerse unos a otros y, en todo caso, el hombre no debe permitir que se coman entre sí.

Esta observación llevó a crear en la "ciudad de los niños" de la Ciudad de las Ciencias y de la Industria, una simulación informática, *extraños dramas.* A fin de que esta simulación se base lo más posible en las concepciones de los niños, se la construyó a partir de sus proposiciones espontáneas sobre cómo mantener en equilibrio un ecosistema. El test de la sinopsis de este programa presentado a una decena de niños permitió reunir diversas proposiciones ante la posición de partida propuesta: una situación de equilibrio entre lobos, alces y un bosque, situación en la que la población local pide que se dé muerte a los lobos que causan algunos daños en la región. Se recogieron proposiciones tales como *matar a los lobos*, *no hacer nada* o, sobre todo, *alimentar a los lobos.* Esta última proposición es una concepción infantil que ningún adulto hubiera imaginado, en tanto que es la preferida por los niños parisienses que ahora juegan con ese programa en la exposición. Es una concepción que representa un obstáculo importante para comprender el equilibrio ecológico de un ambiente (Guichard, 1996).

> simulaciones construidas a partir de las ideas de los niños...

El test previo permitió pues anticipar las reacciones de los niños. En la exposición, los jóvenes visitantes hallan en la pantalla proposiciones que corresponden a sus reacciones frente al problema. Descubren los desastres ecológicos que se producen cuando se sigue lo que les dicta el instinto: destrucción del bosque a causa del aumento de la población de alces.

Al registrar los resultados del juego se comprueba que más de la mitad de los niños eligen la opción *alimentar a los lobos*. Así, ellos mismos pueden poner a prueba sus hipótesis y tienen la oportunidad de modificar sus concepciones.

...a fin de identificar los obstáculos

Aprender es confrontar las hipótesis con los hechos. Este tipo de juego permite colocar al niño en situación de simulación y mostrarle las consecuencias de sus proposiciones espontáneas en el caso de la situación supuesta. Si bien el marco creado los induce a poner a prueba sus hipótesis espontáneas y a cuestionarlas, no basta por sí mismo para quitar los obstáculos. Aunque indudablemente contribuye a hacerlo pues desencadena interrogantes que el niño podrá discutir luego con los adultos.

2.4. Obstáculos para comprender los tiempos... geológicos

Comprender los conceptos geológicos tampoco es algo sencillo. Una de las primeras dificultades que presenta la geología (y en particular la evolución de la Tierra y de la vida) es que los aprendices (niños y hasta adultos) tienen inconvenientes para representarse el tiempo. Los niños elaboran lentamente esta idea, primero en la escala de los acontecimientos que viven cotidianamente (aniversarios, días festivos...), luego en el transcurso de las estaciones, recordando datos y comparándolos. Pero cuando se trata de la escala de los tiempos geológicos, aun para los adultos, las dimensiones ya no son apreciables, pues distan mucho de las referencias habituales de la escala humana.

el sentido de los tiempos geológicos

Este obstáculo de la comprensión de los tiempos geológicos también puede tener relación con la autocentración. Para el niño, la construcción del tiempo está ligada a su propia vida y todo otro orden de dimensión le resulta difícil de percibir.

Un análisis de las concepciones mostró que el principal obstáculo consiste en que la mayoría de los niños de entre 6 y 10 años sitúa el origen de la vida cerca de la época de los dinosaurios, poco antes del origen del hombre. Esta representación perdura en adolescentes de 13 o 14 años.

Sin embargo, la representaciones más frecuentes de la evolución proponen relacionar los 4.560 millones de años (transcurridos desde el origen de la Tierra hasta nuestros días) con un año de 365 días. Si bien esta representación de los tiempos geológicos reducidos a la extensión de un año es pertinente en el caso de los adultos, capaces de percibir el período de un año, no modifica en cambio las concepciones de los niños, pues les propone un apoyo temporal que ellos aún no comprenden claramente. Todavía no pueden percibir muy bien el tiempo de un año. Esto es lo que nos llevó a buscar otras representaciones que no reproduzcan ese obstáculo.

En la sala de descubrimiento de la Gran Galería del Museo, se planteaba el problema de saber cómo representar los tiempos geológicos en el espacio y en particular en un eje vertical que permitiera realizar una "torre del tiempo". También se consideró la posibilidad de una representación horizontal.

Si bien los niños más pequeños, que no tienen ningún conocimiento sobre el tema, sitúan las referencias al azar, los de más edad (más de 10 años) sitúan sistemáticamente el pasado en la parte baja de una representación vertical; esto llevó a los responsables de la sala de descubrimiento de la Gran Galería del Museo a construir una representación vertical del tiempo mediante una torre por la que los niños pueden ir descendiendo desde el presente hacia el pasado.

Una representación lineal del tiempo no parece constituir un obstáculo; los niños se acostumbran a ella, desde edad muy temprana en la escuela. En cambio la dificultad aparece cuando se trata de tiempos relativos, particularmente de los diferentes períodos. Para hacer tomar conciencia de los períodos de tiempo (más o menos prolongados) transcurridos desde la formación de la Tierra (un tiempo nueve veces más largo, del origen de la vida al de los primeros vertebrados terrestres, que desde aquellos primeros vertebrados hasta el hombre), pueden elaborarse o proponerse referencias significativas.

> los lapsos relativos, un obstáculo para comprender la evolución de la vida

A fin de visualizarlo, los niños desenrollan lentamente una cuerda muy larga sobre la cual aparecen referencias cronológicas. Esta idea simple que consiste en proyectar el tiempo en una representación espacial, contribuye a que puedan enfocar

mejor las dimensiones infinitamente grandes de los tiempos geológicos y la duración relativa de los episodios de la historia de los seres vivos.

Sobre una cuerda de 46 metros se hicieron nudos separados entre sí por un metro, es decir por 100 millones de años, y luego se agregaron referencias para marcar las principales etapas de la evolución de la vida sobre la Tierra.

Esta "cuerda" del tiempo permite que los aprendices hagan comprobaciones fundamentales en relación con los tiempos geológicos: las proporciones entre los distintos lapsos que separan los principales acontecimientos consecutivos (origen de la vida, primeros animales con esqueleto, salida de las aguas, época de los dinosaurios, origen del hombre) y aceleración de la evolución de la vida en los tiempos más recientes. Los niños pasan un buen rato desenrollando la cuerda con la expectativa de descubrir en ella los grandes acontecimientos de la historia. Así, por ejemplo, yendo hacia el pasado, advierten que hace falta mucho tiempo para llegar al origen de la vida.

una cuerda del tiempo que al desenrollarse hace "vivir" los tiempos geológicos

Esta representación tiene la ventaja de hacerles "vivir el tiempo" en una escala que les resulta perceptible. Seguramente no les hace sentir la inmensidad de los tiempos geológicos, pero les permite identificar correctamente la cronología de los acontecimientos y las proporciones entre los lapsos que separan esos eventos mayores de la vida sobre nuestro planeta. Si bien conocemos el impacto inmediato que producen estas manipulaciones, no hemos hecho tests ulteriores tardíos que nos permitan conocer su resultado en el largo plazo.

2.5. Crear la situación física que permita descubrir ciertas características de los sistemas técnicos

La concepción de la exposición "Tecnociudad" realizada en la Ciudad de las Ciencias y de la Industria fue precedida por una investigación sobre las concepciones de los jóvenes de entre 12 y 16 años.

Por ejemplo, la mayor parte de ellos dicen que en un automóvil, la caja de velocidades sirve para ir más rápido y hasta para acelerar el motor. Una dificultad que se presenta para que comprendan la función de la caja de velocidades es que estos jóvenes no conciben la idea del esfuerzo que debe hacer el motor cuando ya está en movimiento y cuando no lo está. Creen simplemente que uno acelera pasando sucesivamente de una velocidad a otra, sin establecer ningún vínculo con el esfuerzo exigido al motor. Lo que nos hace pensar que se trata de un obstáculo es que esta concepción subsiste aun en la mayor parte de los jóvenes que ya habían trabajado antes sobre este tema y aseguraban comprender "cómo funciona la caja". Tenían la impresión de comprender, pero no llegaban a captar este aspecto del fenómeno.

Para quitar del medio este obstáculo y hacerles comprender la necesidad de la caja de velocidades y la función que cumple, era interesante hacerles manipular una verdadera caja de velocidades equipada con un cárter transparente que les permitiera descubrir la interacción de los engranajes. Este recurso suele presentarse con frecuencia en las exposiciones de automóviles. Pero el descubrimiento del obstáculo más importante, vinculado con el esfuerzo que realiza el motor, condujo a proponer una caja de velocidades en la que el visitante mismo desempeña el papel de motor haciendo girar una manivela en tanto que otro puede cambiar las velocidades, de modo que ambos participantes pueden comparar la cantidad de giros a la entrada y a la salida de la caja. Así es como lo que más sorprende a los visitantes es sentir en el propio cuerpo la diferencia de esfuerzo físico necesario para hacer girar el eje del motor y por lo tanto percibir la diferencia de esfuerzo que sufre el motor, según se lo lleve en primera o en cuarta, y la dificultad que implica tratar de arrancar en cuarta velocidad.

> crear una situación física que ayude a percibir ciertas propiedades de los sistemas técnicos

Algo semejante ocurre con otro componente técnico importante de un vehículo: el diferencial. El estudio de las concepciones de los jóvenes muestra que no comprenden la utilidad de un diferencial porque no perciben que las ruedas de un mismo eje no giran a la misma velocidad en una curva. Aquí quizás se trate simplemente de una ausencia de conocimientos.

Era pues interesante crear en la exposición un pequeño modelo de eje de automóvil con un cuenta vueltas en cada rueda y hacerlo doblar en una curva para hacer descubrir a los visitantes la diferencia de velocidad de rotación de las dos ruedas paralelas. Si bien conocemos el impacto inmediato producido por estas manipulaciones, no hemos realizado tests posteriores tardíos que nos permitan conocer su impacto en el largo plazo.

2.6. La representación del tiempo de la vida

El análisis del problema de las representaciones gráficas de la vida de los animales en forma de ciclo cerrado muestra cómo el conocimiento de los obstáculos permite evitar que su figuración en paneles o maquetas de exposición los refuerce.

Ciertos estudios muestran que las representaciones cíclicas de la vida (ciclo de vida de la rana, de la libélula...) constituyen un obstáculo para comprender el concepto de vida (Carrez y Daloubeix, Deunff, 1991). En efecto, la vida de un individuo aparece caracterizada por un comienzo (el nacimiento) y un final (la muerte). Las representaciones de los diferentes estadios de la vida —del huevo a la procreación volviendo a terminar en el huevo con la forma de un círculo cerrado—, grafismo que se encuentra en muchos libros y paneles de exposición, lleva a ocultar la muerte del individuo. Esta representación cíclica también constituye un obstáculo para la noción de evolución, pues no deja lugar a las variaciones, cuando en realidad cada individuo de una nueva generación es diferente del precedente. Este aspecto llevó a realizar estudios referentes a ese obstáculo durante la preparación del espacio infantil de la Gran Galería de la Evolución.

> la representación en ciclo cerrado: un obstáculo para la comprensión de la vida

El análisis del tal obstáculo nos condujo a representar los estadios de desarrollo de los animales de manera lineal en nuestros paneles y juegos y en las ediciones relacionadas tanto con el Museo como con la "ciudad de los niños".

2.7. ¿Concepción tenaz u obstáculo puesto a prueba en una maqueta?

Las tipologías de representación gráfica del músculo en el caso de una muestra de niños de entre 6 y 8 años dieron los siguientes resultados:

Ausencia de músculo	Músculo bajo la piel	1 músculo por hueso	1 músculo por articulación
8 %	78 %	14 %	0 %

Figura 3. Las concepciones de los músculos en niños de entre 6 y 8 años

Cuando se representan los músculos, estos aparecen como intermediarios entre los huesos o como un envoltorio bajo la piel. Aun cuando un músculo aparezca representado en relación con un hueso (14% de los casos), su disposición no le permite ser el motor del movimiento. Este análisis demuestra ausencia de la concepción operativa que permite comprender la función que cumplen los músculos en el movimiento de los miembros.

Pero lo que resulta sorprendente es la comparación con el análisis de esas mismas concepciones entre los adultos.

El test descripto seguidamente permite comprobar y hacer comprobar a los futuros docentes en formación continua, los límites de las enseñanzas que han vivido. Consiste en pedirles que *dibujen un esquema funcional del brazo que permita explicar cómo se puede efectuar un movimiento.*

> muchos obstáculos subsisten entre los adultos...

Un test realizado entre 78 maestros de escuela da los siguientes resultados:

Las diferentes representaciones	un músculo por articulación (esquema exacto)	un músculo no adherido	un músculo adherido a su hueso
futuros maestros	12 %	47 %	41 %
maestros	28 %	40 %	32 %

Figura 4. Esquema funcional del brazo según un grupo de adultos

La representación exacta, la única funcional ("esquema funcional") corresponde a un músculo adherido a dos huesos diferentes de un lado y otro de una articulación, de modo que al contraerse pueda hacer mover la articulación. Esta concepción sólo aparece en el [12% de los futuros maestros y en el 28% de los que ya están en funciones. Las otras concepciones (músculo no adherido o músculo adherido a un solo hueso) no son funcionales. Y tienen su origen en la memorización de un esquema sin reflexión sobre el funcionamiento. Estas concepciones representan un obstáculo para comprender la función del músculo, puesto que los adultos interrogados tenían la impresión de "saber". Puestos ante el esquema de un libro, parte de ellos validaba su representación gráfica sin percibir que esta no era funcional. Se trata pues de un obstáculo creado por la valorización de las primeras apariencias; la imagen mental construida a partir de la imagen del documento corresponde a una visión global anatómica y no a una visión funcional del sistema hueso-articulación-músculo.

...como en el caso de la anatomía de los músculos y su función en el movimiento

Es importante relacionar los resultados con el hecho de que las personas interrogadas admiten haber aprendido dos o tres veces durante sus estudios el esquema del brazo, pero sin hacer la correspondiente reflexión sobre su funcionamiento. Lo mismo que las personas interrogadas, uno advierte los límites de una enseñanza que no se basa en el cuestionamiento fun-

cional o (y) en las manipulaciones. Los resultados mejoran entre los maestros que enseñan este tema a sus alumnos.

Estos resultados obtenidos a partir de situaciones de formación llevó a buscar elementos de exposición que se apoyaran en este conocimiento de las concepciones y los obstáculos asociados a ellas (Guichard, 1995).

En la "ciudad de los niños" procuramos, pues, poner a punto una manipulación que incitara al visitante a cuestionarse sobre este tema. La solución propuesta consistió en construir un músculo falso cuya contracción se logra accionando una palanca; ese músculo está adherido al esqueleto de un brazo sólo en su parte superior. Para que se produzca el movimiento del brazo ligado a la contracción (simulada) del músculo, el niño debe enganchar previamente la parte inferior del músculo a un pequeño gancho.

> el descubrimiento de este obstáculo inspira la elaboración de una situación en la exposición...

Pero dispusimos varios ganchos en las posiciones correspondientes a las distintas ideas preconcebidas de los niños; particularmente, el ganchillo situado en la base del húmero (correspondiente a la representación más frecuente del públi-

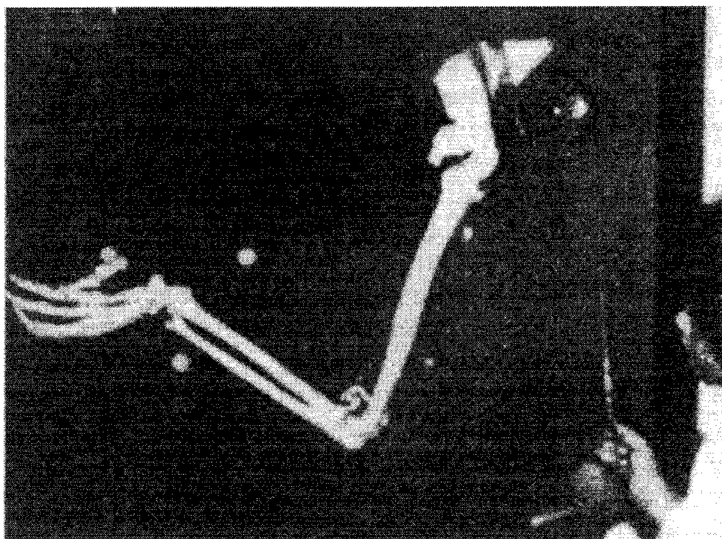


Figura 5. La manipulación del músculo

co) fue colocado con la intención de demostrar el error de las concepciones de los visitantes. En efecto, si se adhiere el músculo en ese punto y se hace funcionar la palanca que provoca la contracción, no se logra el movimiento del brazo.

Los resultados de este test muestran que más de la mitad de los niños comienzan por colocar el músculo de manera incorrecta y luego modifican espontáneamente el punto de enganche en una segunda prueba, esta vez concluyente. La manipulación induce a analizar el sistema músculo-articulación y a reflexionar sobre el funcionamiento de ese sistema. Conviene destacar que los visitantes tienen sólo dos oportunidades y que logran naturalmente su cometido al segundo intento.

Un test realizado posteriormente mediante una entrevista muestra que prácticamente todos los niños que realizan esta manipulación proponen una estructura funcional del brazo, resultados que no se asemejan en modo alguno a los obtenidos con la totalidad de los niños interrogados durante el test previo. Los niños comprendieron el principio y la función del músculo en el movimiento del brazo. El objeto provocó una reflexión por parte de ellos (Guichard, 1995).

> ...que permite comprender la estructura funcional del brazo

En este ejemplo, el obstáculo estriba, no en la dificultad para comprender el principio de la dupla músculo-articulación, sino en la imagen mental que uno se forja cuando entra en el tema por una vía principalmente visual. En efecto, en situaciones de formación en las que se les pide a los niños o a los adultos modelizar un sistema hueso-músculo funcional, se advierte que los niños que no tienen conocimientos sobre el tema logran resultados mejores y más rápidos que algunos adultos que tenían la impresión de “saber”, pero que hacían esquemas no funcionales.

Esto no autoriza a sacar la conclusión de que el hecho de mostrar lo verdadero basta para provocar un cambio de concepción de los niños, sino simplemente que hacer manipular este tipo de objetos es importante para que comprendan los aspectos funcionales y para llamarles la atención sobre ellos. En el caso estudiado, la idea es intentar hacer evolucionar las concepciones hacia una visión funcional teniendo en cuenta

que la imagen mental más difundida constituye un obstáculo para comprender la realidad.

3. Prototipos para descubrir los obstáculos creados por la exposición misma

Este procedimiento de investigación de los obstáculos, que se realiza mientras se define el tema científico de una exposición y se crean los elementos que han de exponerse, no debe hacer olvidar que, para el visitante, la modelización de un objeto de exposición o la finalización de una manipulación constituyen en sí mismas una nueva representación que puede provocar la construcción de nuevos obstáculos. De modo que, cuando es posible hacerlo, conviene pasar por el estadio de los prototipos antes de construir los elementos de la exposición.

la creación de objetos de exposición puede crear nuevos obstáculos...

3.1. Tests de prototipos destinados a evitar nuevos obstáculos

La exposición para niños "Electricidad" de la Ciudad de las Ciencias y de la Industria, fue concebida teniendo en cuenta estudios sobre las concepciones infantiles. El siguiente ejemplo muestra cómo el paso por prototipos pudo evitar que los niños reforzaran ciertos obstáculos conceptuales referentes a la electricidad.

...que es necesario identificar a tiempo mediante prototipos

En efecto, un análisis bibliográfico (Johsua y Dupin, 1989) demostraba que la *metáfora del fluido* utilizada para representar la electricidad en un circuito constituía un obstáculo para la futura comprensión de la naturaleza de la electricidad. Ahora bien, esta es una concepción frecuente entre los niños que imaginan la electricidad como un fluido que circula por los cables; además durante los tests previos, algunos dijeron que *en la central, el agua de los embalses entra en los cables eléctricos.*

También pusimos gran atención en la modelización física de los circuitos eléctricos presentados en la exposición. Para realizar circuitos eléctricos que pudieran manipular centenares de miles de niños y que fueran visibles desde lejos en la exposición, el diseñador propuso un objeto muy colorido y muy atractivo, del que se le pidió que realizara un prototipo.

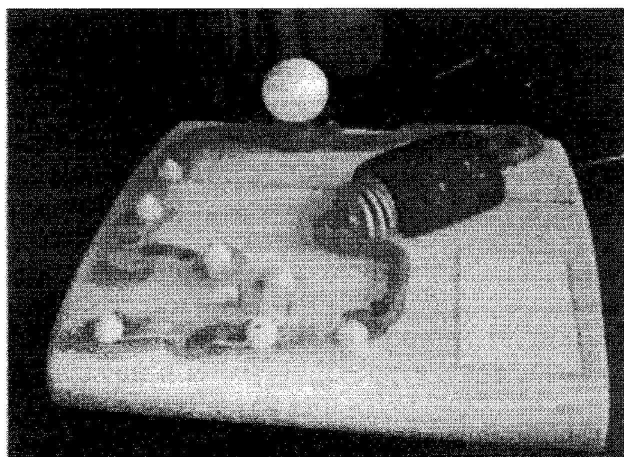


Figura 6. Prototipo de la exposición "electricidad": un prototipo de diseñador puesto a prueba para evitar introducir nuevos obstáculos

La observación y las entrevistas con niños ante este objeto mostraron que la presentación fortalecía la idea de corriente de agua pues tomaban los cables representados con color azul por caños de agua. La representación de los cables eléctricos engrosados por delgados caños de cobre también reforzaba esta interpretación. Los tests permitieron, pues, evitar la creación de nuevos obstáculos en relación con la comprensión de la naturaleza de la electricidad. Después de poner a prueba diferentes materializaciones de esos cables gruesos, en la exposición definitiva simplemente se utilizaron cables eléctricos muy gruesos con su cubierta de plástico, cables que los niños percibían directamente como cables eléctricos. Esta materialización no impide que la concepción-obstáculo persista entre

los niños, pero, en todo caso, no la refuerza, que es lo que habría ocurrido si los creadores de la exposición no hubiesen estado sensibilizados en relación con ese problema.

3.2. Analizar los obstáculos que pueden ser producto de la utilización de imágenes

El estudio tradicional del cuerpo como una serie de monografías de aparatos separados (aparato circulatorio, respiratorio, excretor, digestivo...) construye en los alumnos un obstáculo para comprender el funcionamiento global del organismo y de las interacciones entre esos sistemas (Giordan y De Vecchi, 1987). Los niños no perciben los vínculos entre esos sistemas. Se trata de un obstáculo asociado a las condiciones de aprendizaje y a la representación gráfica que aparece en los libros (por sistemas separados). Esta concepción les impide captar de manera dinámica el funcionamiento de su cuerpo.

Se nos ocurrió entonces idear un elemento de exposición, "Ver el interior del cuerpo" en el cual el niño se sitúa delante de un marco (del tipo de los que se utilizan para tomar radiografías), regulable según su estatura para aumentar la conveniencia del procedimiento. En el espejo sin azogue situado ante él, el niño ve aparecer la imagen del interior de su cuerpo. Esa imagen no debía ser estática sino que debía reflejar algunas actividades internas. El niño descubre y vive los vínculos que relacionan los diferentes sistemas (respiratorio, circulatorio, excretor y los órganos) al ver, sobre la imagen de su propio cuerpo, el trayecto que sigue el oxígeno que respira y cómo se transforma en el organismo.

Los resultados del estudio muestran que, en el 80% de los casos, después de haber realizado esta manipulación, los niños identifican la posición de los órganos presentados y sobre todo las relaciones sistema respiratorio-sistema circulatorio-órganos (Giordan y Guichard, 1993). Así es como el descubrimiento visual de esos vínculos en su propio cuerpo y a una velocidad real ejerce un impacto en las concepciones de los niños y les ofrece una visión nueva del funcionamiento de su organismo.

La elección del tipo de imágenes no fue sencilla. Ninguno de los procedimientos empleados habitualmente en la imaginería

médica es directamente accesible al público. Sólo algunas radiografías (pulmonar, estomacal o intestinal) se reconocen globalmente, en particular cuando se las colorea mediante el uso del ordenador. De todos modos, ninguna de ellas permite visualizar las relaciones, por ejemplo, entre respiración y circulación, entre nutrición y circulación. Por lo tanto, era necesario emplear la imagen en movimiento (Giordan y Lintz, 1991). Los tests de una breve animación por ordenador mostraron la necesidad de no representar el trayecto del aire de color azulado, pues los niños lo asimilaban al del líquido y no al del aire, lo cual creaba un obstáculo para la comprensión del fenómeno; por otra parte, los tests manifestaron asimismo la necesidad de dar volumen a la imagen a fin de aumentar el realismo y la comprensión. De modo que se propuso animar sobre el vídeo radiografías discretamente coloreadas con los colores reales.

> las imágenes creadas por un filme también pueden generar obstáculos

4. Un ejemplo del cual se estudió el impacto a largo plazo: el esqueleto

Entre los conocimientos sobre el cuerpo humano que parecen evidentes en el espíritu de todos está el del esqueleto. Sin embargo, un análisis de las concepciones de niños entre 6 y 8 años nos reserva algunas sorpresas.

4.1. Para los menores de seis años, una bolsa de huesos

En efecto, ante la propuesta *dibuja tu esqueleto* en una silueta esbozada en una hoja de papel que se les entregó, muchos de los niños de 6 años representaron su esqueleto como una “bolsa de huesos”, aun cuando parecían tener conciencia de la función de armazón que cumple *para sostener el cuerpo* (Giordan, 1990).

Si bien las concepciones globales de los niños de entre 6 y 8 años no siempre son tan desestructuradas, ninguna muestra una estructura del esqueleto que sea coherente con la función del movimiento del cuerpo, es decir, con huesos largos de una

articulación a otra y con huesos que terminan a la altura de la articulación (Giordan y De Vecchi, 1987).

En efecto, un sondeo realizado entre 112 niños de entre 6 y 8 años de París que nunca habían recibido lecciones sobre el esqueleto, dio los siguientes resultados:

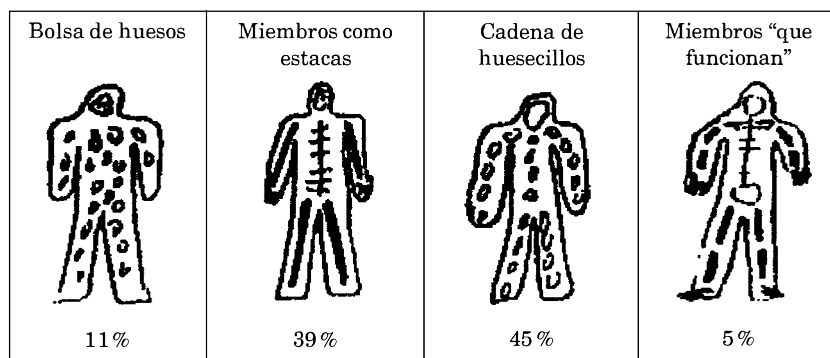


Figura 7. Las concepciones sobre el esqueleto de niños de entre 6 y 8 años

Estos resultados confirman que se impone una representación no estructurada del esqueleto en el 97% de los casos de la muestra de niños menores de 8 años. En efecto, sólo la representación de los miembros "que funcionan", vale decir de huesos largos entre cada articulación de miembros, es exacta y corresponde a una estructura funcional del esqueleto. Todas las demás concepciones son desestructuradas (la bolsa de huesos, la cadena de huesecillos) o no funcionales desde el punto de vista del papel que cumple el esqueleto en el movimiento (miembros como estacas).

los niños pequeños tienen concepciones no estructuradas en relación con el esqueleto

Podría suponerse que aquí se trata meramente de una falta de conocimientos, pero el test siguiente muestra la persistencia de algunas de estas concepciones en el espíritu de los niños.

4.2. Los obstáculos provocados por la memorización de una imagen sin una reflexión previa sobre la funcionalidad del sistema

A fin de medir el impacto provocado por nuestras herramientas de ayuda para el aprendizaje, debíamos contar con una muestra testigo; esta situación experimental nos llevó a organizar un curso como ya pocos maestros lo hacen: propusimos a dos maestros de CP (alumnos de 6/7 años) realizar un sesión de enseñanza "frontal" sobre el esqueleto, sin diálogo ni presentación de la funcionalidad de la arquitectura de los huesos: descripción del esqueleto sobre una lámina anatómica mural (para la escuela elemental) con los nombres de los principales huesos, entrega a cada alumno de una copia que representaba un esquema del esqueleto dibujado dentro de la silueta del cuerpo; no debía haber intercambio entre los niños quienes aprenderían la lección en su casa. No nos interesamos por los resultados inmediatos de este aprendizaje, resultados, por lo demás, bastante satisfactorios: al día siguiente, los niños fueron capaces de representar una estructura coherente del esqueleto y citar los nombres de algunos huesos.

Seis meses después, sin anuncio previo, volvimos a interrogar a los mismos niños a fin de verificar el efecto de este aprendizaje en el mediano plazo. Estos fueron los resultados obtenidos (en una muestra de 51 alumnos):

Bolsa de huesos	Miembros como estacas	Cadena de huesecillos	Miembros "que funcionan"
2 %	52 %	18 %	28 %

Figura 8. Las concepciones sobre el esqueleto, seis meses después de una lección frontal

La mayor parte de los alumnos representan una mezcla entre sus antiguas concepciones (anteriores al aprendizaje) y los elementos surgidos de la "lección" aprendida en clase y de la cual les queda una vaga estructura general, "la espina", las costillas y una terminología ya bastante mezclada (Guichard,

1995). La concepción de “miembros como estacas”, muy arraigada en el espíritu de la mitad de los alumnos, corresponde a una imagen mental incompatible con la comprensión de las articulaciones, a pesar de que ellos creen “saber”. Resultados semejantes aparecieron en otros estudios sobre el mismo tema (Becerra, 1994).

...entre las cuales algunas pueden constituir obstáculos que persisten después de una enseñanza frontal

Puede comprobarse que muy pocos niños adquirieron una concepción funcional del esqueleto compatible con la posibili-



Figura 9. “Un niño participa de la carrera con su esqueleto”

dad de realizar un movimiento. Estas concepciones representan un obstáculo para la comprensión de la función que desempeña el esqueleto en los movimientos del cuerpo. Además, si bien los niños expresan espontáneamente la función de sostén (los huesos sostienen el cuerpo), sólo excepcionalmente manifiestan la del movimiento.

4.3. Concebir elementos de exposición teniendo en cuenta este análisis

La manipulación "A correr con tu esqueleto" fue concebida en 1976 para un espacio sobre el movimiento del cuerpo dentro del Inventorium. Está destinada a niños de entre 6 y 12 años.

El niño monta en la bicicleta y ve permanentemente la imagen de su cuerpo en un espejo sin azogue. Cuando comienza a pedalear ve aparecer en la imagen de su cuerpo un esqueleto en movimiento. Los movimientos de las piernas y del esqueleto le llaman especialmente la atención sobre la función y la estructura ósea de los miembros inferiores.

...pero que pueden ponerse en tela de juicio mediante un objeto de exposición

El mismo test del apartado 4.1 fue propuesto a un grupo de escolares (93 niños de entre 6 y 7 años), al día siguiente de la visita. En el cuadro siguiente aparecen los resultados:

Tipo de representación	Bolsa de huesos	Miembros como estacas	Cadena de huesecillos	Miembros "que funcionan"
Después de visitar la exposición	0%	5%	0%	95%
8 meses después	0%	7%	1%	92%

Figura 10. Concepciones de los niños después de "hacer la carrera con tu esqueleto" y ocho meses más tarde

Comparados con las concepciones habituales de niños de esa edad, estos datos muestran un sorprendente aumento de la representación funcional (los miembros "que funcionan") que llega a ser evidente para la casi totalidad de los niños (89 de 93). Vale la pena observar que sólo dos tercios de los niños representan los dos huesos de la pierna (tibia y peroné). Pero lo esencial, respecto del movimiento, ha sido adquirido, como lo permite verificar la entrevista con los niños: *huesos de una articulación a otra; los huesos terminan donde la pierna se flexiona.*

...lo que suscita la emoción y un descubrimiento por la acción

A fin de verificar si este conocimiento se conservaba en el largo plazo, realizamos el mismo test con una parte de los niños participantes (67 alumnos), cuando habían transcurrido ocho meses desde la visita durante los cuales no habían recibido lecciones sobre el esqueleto; parte de los niños de la muestra inicial se habían dispersado en otras clases dado que este nuevo test se realizó cuando comenzaba el siguiente ciclo escolar. Los resultados pueden apreciarse en el cuadro precedente (fig. 10).

Si comparamos estos resultados con los obtenidos seis meses después de una clase frontal (fig. 8), comprobamos el impacto, tanto en el corto como en el largo plazo, de la manipulación propuesta para el conocimiento funcional de los niños respecto de su esqueleto. Si bien el conocimiento del resto del esqueleto no es tan preciso, en la casi totalidad de los casos (el 92 %), la estructura funcional de los huesos de los miembros inferiores fue comprendida y registrada de manera perdurable. La manipulación propuesta al niño favoreció, pues, la adquisición del conocimiento y de la comprensión de una estructura funcional del esqueleto; y esta apropiación corresponde a una adquisición a largo plazo que coincide con la hipótesis de partida.

El análisis del impacto producido por esta manipulación da validez a la decisión tomada por quienes concibieron el objeto con la intención de poner de manifiesto las características del esqueleto en relación con el movimiento, localizando la atención del niño en el movimiento de las piernas. La experiencia muestra entonces el interés de una herramienta didáctica construida tomando en consideración las concepciones de los niños y dando prioridad a la construcción de situaciones que los induzcan a hacer un análisis de los elementos que van a estructurar un conocimiento.

Conclusión

> herramientas museográficas construidas a partir del conocimiento de las concepciones y de los obstáculos...

El análisis precedente prueba que la creación de elementos de exposición puede basarse en un enfoque didáctico:

— reuniendo previamente informaciones que permitan tener una idea de los interrogantes y las concepciones de los visitantes, así como de los obstáculos que puedan percibirse,
— creando prototipos y poniéndolos a prueba mediante tests, a fin de evitar reforzar ciertos obstáculos o crear otros nuevos mediante las modelizaciones propuestas.
— dando prioridad a las soluciones museográficas que inciten al niño a participar activamente.

El análisis muestra asimismo que concebir elementos de exposición basándose en el conocimiento de las concepciones de los niños y de los obstáculos a menudo puede hacer evolucionar de manera duradera sus conocimientos. Esta demostración se opone a la idea tradicional según la cual el impacto que ejerce la museografía en el público corresponde solamente al orden de la sensibilización. Por el contrario, muestra que en ciertas condiciones, el museo también puede contribuir a desarrollar saberes y hacerlo mejor que una enseñanza frontal tradicional que no demanda reflexión por parte de los niños.

Pero es necesario señalar los límites de las visitas a exposiciones o museos. No es posible construir conocimientos estructurados durante una simple visita a una exposición. Si bien la visita puede emocionar, despertar interrogantes, sorprender y, por lo tanto, dejar huellas duraderas en la memoria, sólo puede transmitir conocimientos fragmentarios. Por una parte, el docente debe sensibilizar a los alumnos y emplear herramientas que permitan estructurar la visita a fin de que esta deje rastros en los estudiantes y por otro lado, es indispensable un tiempo de estructuración. El lapso que dura el paso por una exposición no es suficiente para asentar aprendizajes que requieren procesos más prolongados y repetitivos.

No obstante, las "herramientas museográficas interactivas", construidas en estas condiciones, pueden constituir una

ayuda eficaz para el aprendizaje, tanto en el caso de los estudiantes, como en el del público que visita la muestra como un simple entretenimiento.

> ... pueden contribuir al aprendizaje

En ningún caso este diagnóstico didáctico, basado en la idea de que quienes conciben la exposición toman en consideración al público, puede sustituir la gestión de creación de esas herramientas pedagógicas. Pero alimenta de manera eficaz la creatividad de quienes deciden los elementos de una muestra y los ayuda a encontrar soluciones técnicas que se apoyen en las dificultades de comprensión de su público.

Creemos que procesos de diagnósticos similares (Giordan, Guichard y Guichard, 1997) pueden conducir a elaborar herramientas pedagógicas eficaces en el marco estrictamente escolar.

Jack Guichard
IUFM de París.
Françoise Guichard,
Museo Nacional de Historia Natural de París.

Referencias bibliográficas

Abrougui, M. 1994. *Évolution des conceptions d'élèves de ZEP et non ZEP en fonction de stratégies pédagogiques accompagnant la visite de l'îlot "fais ta carte d'identité", à La cité des enfants.* Informe de DEA, Laboratoire P. Clément, Universidad de Lyon I, 90 pp.

Bachelard, G. 1938. *La formation de l'esprit scientifique.* París, Vrin. [*La formación del espíritu científico.* Barcelona, Planeta-De Agostini, 1985.]

Becerra, A. L. 1994. Ciencias en el Primer Ciclo de la Educación Primaria. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales,* nº 2: 83-92.

Borun, M. 1982, Naive notions and the design of science museum exhibits, en S. Bitgood, A. Benefield y D. Patterson (comps.), 1989, *Visitor Studies-Theories, Research and Practise*, vol. 2, Jacksonville, AL, Center for Social Design, pp. 158-162.

Borun, M., Lutter, T. y Massey, C. 1993. Naive Knowledge and the Design of Science Museum Exhibits.
Curator, vol. 36, nº 3: 201-220.

Carrez, D., Daloubeix, S. y Deunff, J. et al. 1991. *Dis maîtresse, c'est quoi la mort?* Dijon, CRDP, 204 pp.
Giordan, A. y De Vecchi, G. 1987. *Les origines du savoir*. Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 212 pp.
Giordan, A. 1988. De la catégorisation des conceptions des apprenants à un environnement didactique optimal. *Protée*, Expomédia, nº 16/3, Quebec.
Giordan, A. 1990. *Document de synthèse sur les conceptions des jeunes de 6 à 13 ans à propos du corps humain*. Estudio DJF, París, Ciudad de las Ciencias y de la Industria.
Giordan, A. y Lintz, M. 1991. *Document de synthèse sur les conceptions des jeunes de 6 à 13 ans à propos du corps humain*. Informe interno DJF. París, Ciudad de las Ciencias y de la Industria.
Giordan A. y Lintz, M. 1992. Comparaison de quelques éléments d'exposition entre l'Inventorium y La cité des enfants. *Rapport de recherche interne CSI*. París, 60 pp.
Giordan, A. y Guichard, J. 1993. Le corps humain en spectacle. *Actes des XVes JIES*, Chamonix, A. Giordan, J.-L. Martinand y D. Raichvarg, (comps.), pp. 355-362.
Giordan, A., Guichard, F. y Guichard, J. 1997. *Des idées pour apprendre*. Niza, Z'Editions, 360 pp.
Griggs, S. A. 1981. Formative evaluation of exhibits at the British Natural History Museum. *Curator* 24/3.
Griggs, S. A. y Manning, J. 1983. The predictive validity of formative evaluation of exhibits. *Museum Studies Journal*, otoño.
Guichard F. y Leclercq, V. 1994. La génèse d'une salle de découverte. *La Lettre del'OCIM* nº 33: 46-53.
Guichard, F. y Roudeau-Leclercq, V. 1994. Approchès conceptuelles de l'évolution pour les plus jeunes à travers la salle de découverte de la grande galerie du Muséum, en A. Giordan, J.-L. Martinand y D. Raichvarg, (comps.), *Actes des XVIes JIES*, Chamonix, pp. 385-390.
Guichard, J. 1988. Représentation des enfants à propos des fourmis et conception d'un outil muséologique. *Aster*, nº 6, París, INRP.
Guichard, J. 1990. *Diagnostic didactique pour la conception d'objets d'exposition*. Tesis de doctorado en Ciencias de la Educación. Universidad de Ginebra, 434 pp.
Guichard, J. 1993. "La prise en compte du visiteur comme outil de la conception muséologique: un example concret, la "cité des enfants". *Publics et musées*, 3: 111-135.
Ghichard, J. 1995. Designing tools to develop the conceptions of learners. *International Journal of Science Education*, V. 17, nº 2: 713-723.
Guichard., J. 1996. Nécessité d'une recherche éducative dans les expositions à caractère scientifique et technique. *Publics et musées*, 7: 95-115.

Johsua, S. y Dupin, J.-J. 1989. *Représentations et modélisation: le debat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique.* Berna, Peter Lang.

Martinand, J.-L. 1989. Questions actuelles de la didactique des sciences. *Psychologie génétique et didactique des sciences.* Berna, Peter Lang, pp. 93-105.

Natali, J.-P. y Martinand, J.-L. 1987. Une exposition scientifique thématique... est-ce bien concevable? *Éducation permanente*, nº 90.

Piani, J. y Weil-Barais, A. 1993. *Les échanges adultes-enfants à la "cité des enfants"*, Informe de investigación CSI, 56 pp.

Screven, C. G. 1976. Exhibit evaluation, a goal referenced approach. *Curator*, vol. 19, nº 4.

Screven, C. G. 1983. Evaluation and the exhibit design process: pretesting audience as a design tool. *Iconographie* 2/2. Dinamarca. Mobilia-Press.

Sutton, C. R. 1982. The origins of pupils' ideas, en C. Sutton y L. West (comps.), *Investigation children exciting ideas about sciences*. Leicester, University of Leicester, School of Education.

Triquet, E. 1993. *Analyse de la genèse d'une exposition.* Tesis. Universidad Claude Bernard, Lyon I, 384 pp.

Vignes, M. 1993. Essai de caractérisation des connaissances mises en oeuvre dans la manipulation de dispositifs du thème "machine et mécanismes" à la "cité des enfants" *Rapport de recherche interne CSI*, París, p. 80.

Wolf, R. I. y Tymitz, B. L. 1978. *A preliminary guide for conducting naturalistic evaluation in studying museum environments.* Washington D.C., Office of Museum Programs, Smithsonian Institution.

4

Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos

Brigitte Peterfalvi

Hace algunos años, en una perspectiva de desarrollo de competencias metodológicas, se experimentaron situaciones de trabajo que incluían una reflexión distanciada de los alumnos sobre sus propios procedimientos. ¿Qué interés puede presentar, en el marco de un estudio sobre los obstáculos epistemológicos, la trasposición de un trabajo de este tipo inscripto en una dimensión metacognitiva? Ante el carácter resistente de tales obstáculos, el objetivo es desarrollar la capacidad de reconocer sus manifestaciones para estar en condiciones de evitarlos cuando vuelvan a presentarse. Pruebas realizadas en clase permiten precisar las características de los obstáculos que los propios alumnos pueden identificar y, entre esas características, aquellas cuya identificación se ha manifestado más fecunda. Tales estudios nos dan algunas pistas sobre las situaciones que alientan a los estudiantes a formular observaciones sobre los obstáculos.

Desde hace unos diez años, tomar en consideración el aspecto didáctico de los obstáculos epistemológicos y la trascendencia que tiene el hecho de que los alumnos los "superen" ha dado lugar a una importante corriente de investigaciones. Fueron exploradas diversas modalidades de trabajo, particularmente las que dan prioridad a las estrategias por conflicto cognitivo o sociocognitivo. Con frecuencia se han destacado las dificultades que presenta poner en ejecución tales estrategias

y el carácter a veces aleatorio de lo que producen (por ejemplo, Johsua, 1989; Blaye, 1989; Monteil, 1989...). Esta es una de las razones por las que una investigación del INRP, titulada "Objetivos-obstáculos y situaciones de aprendizaje alrededor del campo conceptual de las transformaciones de la materia" (en biología y en físico-química), propone una diversificación de las estrategias destinadas a trabajar los obstáculos, en una perspectiva de "objetivos-obstáculos" como la presentada por Martinand (Martinand, 1986; Astolfi y Perfalvi, 1993).

> favorecer la toma de conciencia de los obstáculos

A partir de un encuadre teórico común, una veintena de docentes de los niveles primario y medio elaboran situaciones diversificadas de enseñanza/aprendizaje tendentes a trabajar los obstáculos que se manifiestan en el campo conceptual. Junto a los trabajos que ponen en juego situaciones-problemas y diversas situaciones de confrontación de ideas, una de las direcciones seguidas se inspira en estudios sobre la metacognición como los de Flavell (1985) o de Cauzinille y Melot (1993), que se interesan en el impacto que ejercen tales procesos cognitivos en la optimización de los aprendizajes, y en otros estudios de orientación más epistemológica como los de Larochelle y Désautels (1992) que proponen actividades que suscitan en los estudiantes una reflexión sobre su marco epistémico.[1] Conocida con la denominación "identificación de obstáculos", esta dirección de trabajo procura crear situaciones capaces de favorecer en los alumnos la toma de conciencia de los obstáculos que intervienen en su propio pensamiento. En este enfoque se encuentra también, de manera traspuesta, la idea de psicoanálisis del conocimiento de Bachelard, aunque, por supuesto, con ciertas adaptaciones asociadas a las limitaciones que presenta el marco escolar y a las características del pensamiento en desarrollo de los niños.

Esta orientación retoma una problemática desarrollada hace algunos años por el mismo equipo en relación con la adquisición de competencias metodológicas (Astolfi, Peterfalvi y Vérin, 1991). En el marco de este trabajo, en virtud de una alternancia de fases inmersas en la acción (organizadas alrededor de un problema científico que debe resolverse) y de fases distanciadas (organizadas alrededor de la revisión comparativa del trabajo realizado y de los procedimientos empleados),

los alumnos participaban activamente en un aprendizaje metodológico. Esta modalidad de trabajo les permitía no sólo poner a prueba la eficacia y los límites de sus propios métodos, sino además desarrollar de manera reflexiva una toma de conciencia y una conceptualización capaz de intervenir en la regulación de procesos ulteriores (Peterfalvi, 1991).

reflexionar sobre sus métodos

En el caso de la identificación de obstáculos, el proceso es globalmente el mismo. Al igual que los momentos de reflexión distanciada sobre el método, la identificación de obstáculos es, para los alumnos, un desarrollo que se afianza en el trabajo de elaboración conceptual y vuelve sobre él. La identificación se apoya también en otras fases en las cuales se ponen a prueba las concepciones de los alumnos o en las que se realizan construcciones conceptuales. Este tipo de trabajo sólo puede desarrollarse a posteriori, cuando, ante un problema dado, ya se ha superado el obstáculo o al menos ya se lo ha trabajado lo suficiente para que no impida la resolución de ese problema. Allí estriba la condición de un distanciamiento reflexivo pues sólo entonces el obstáculo se hace identificable como tal (Fabre, 1995).[2]

reflexionar sobre aquello que se opone a la comprensión

Está claro que esto no significa que tal tipo de trabajo pueda sustituir la construcción de conceptos, que continúa siendo la finalidad principal de la enseñanza científica. Por el contrario, la identificación de los obstáculos contribuye a consolidarla y estructurarla, pues la formulación de aquello contra lo cual se construye el concepto es determinante para delimitarlo. Como dice Fabre con referencia al proyecto bachelardiano, "Para llegar a tener plena conciencia del rigor, es necesario adquirir una conciencia de lo no riguroso" (Fabre, *ibid.*). Por lo tanto, es menester articular esta estrategia con otras modalidades de trabajo. Pero en realidad, el peligro no radica verdaderamente en la posibilidad de una desviación metacognitiva en la que la reflexión distanciada terminaría por reemplazar los aprendizajes científicos stricto sensu. En efecto, estos constituyen la preocupa-

un proceso reflexivo que se articula con otras modalidades de trabajo

ción primaria de los docentes y es el trabajo reflexivo lo que, antes bien, mostraría una tendencia a disminuir, cuando se procura desarrollarlo.

¿Qué ventaja tiene, pues, alentar a los estudiantes a constituir un saber de este tipo sobre su funcionamiento intelectual? ¿Cuáles son las posibilidades reales de esta estrategia? A partir de un estudio de caso, propondremos precisamente algunas hipótesis y ciertas pistas que giran alrededor de ambas preguntas.

1. De la superación de obstáculos a su reconocimiento

1.1. Interés de un trabajo "reflexivo" sobre los obstáculos

Los trabajos iniciados en didáctica sobre el problema de tomar en consideración los obstáculos epistemológicos conducen a modular una problemática cuyo objetivo sería que los alumnos definan el modo de "superarlos".

Como ya sabemos, los obstáculos epistemológicos son característicamente "resistentes", podríamos decir, que lo son por definición, ya que precisamente lo que está en juego son los marcos mismos del pensamiento. Como dicen Marie Larochelle y Jacques Désautels respecto de la dinámica del funcionamiento de las concepciones espontáneas:

> *"Si las concepciones espontáneas conservan la atención, no es porque sean falsas o inmaduras, sino porque son viables. Su interés se mide por su éxito pragmático, en un contexto dado, por mantenerse como estructura y por permitir así que un sujeto funcione de manera satisfactoria en su ambiente"* (Larochelle et Désaute, 1992).

Esto explica, en buena medida, su persistencia y la función de obstáculo que cumplen tales concepciones en la evolución conceptual.

obstáculos superados con dificultad

Pero lo que demuestran además esos trabajos (White y Gunstone, Gauld, 1989, citados por Désautels, 1992) es que, a pesar de los esfuerzos de enseñanza dirigidos en tal sentido,

particularmente mediante estrategias que procuran instaurar conflictos sociocognitivos, los obstáculos reaparecen cuando uno se aleja del problema preciso que llevó a trabajar sobre ellos o después de transcurrido cierto tiempo y cuando ya no se esperaba tal reaparición. Es más, a menudo sólo se los puede superar parcialmente incluso en relación con el contenido mismo sobre el cual se los trabajó. Por nuestra parte, inmediatamente después de tales trabajos, con frecuencia pudimos observar producciones de conciliación entre la antigua postura familiar y lo que el docente procura hacer construir. Por ejemplo, hay alumnos que incluyen el CO_2 entre los componentes nutritivos de los vegetales aun pasado un tiempo de haberse discutido en clase tal posibilidad, lo cual representa un retroceso cierto del núcleo de obstáculos que están en juego en ese problema, pero lo hacen penetrar por las raíces, como la tierra en su sistema de representaciones precedentes. También pudimos observar juegos de desplazamiento de los obstáculos, que oscilan entre manifestaciones simétricas (por ejemplo, *todo puede transformarse en cualquier cosa* y *nada se transforma*) o que se refugian en sistemas de representación cada vez más elaborados. Por ejemplo, para los alumnos de Sexto* el vitalismo, es decir la concepción de todo lo vivo como entidad mágica y sagrada, se manifiesta en ese mismo campo conceptual, primero mediante la idea de que la materia de un ser vivo tiene la propiedad intrínseca de crecer, sin necesidad del agregado de materia exterior; luego, después de haberse trabajado en clase este aspecto del obstáculo, lo hacen mediante la idea de una necesidad de agregado de materia exterior, pero que se yuxtapone, ya sea rellenando o envolviendo la materia del ser vivo, sin integrarse a él, con lo cual este conserva sus propiedades valorizadas y fundamentalmente diferentes de las de aquello que carece de vida; y por último, mediante la idea de una fuerza vital responsable de la organización específica de la materia en el ser vivo, que dispone las sustancia por sí misma, contra las reglas de la física y de la química del mundo mineral (Goix, 1996; Monchamp, 1993). En todos estos casos, los obstáculos ceden suficiente espacio para permitir que crezcan

aun cuando se procura tratarlos

* Curso del ciclo medio al que asisten alumnos de 12 años. [T.]

las estructuraciones conceptuales a las cuales se oponían Pero, en cierta medida, subsisten.

Estas consideraciones nos llevan a pensar que, sea cual fuere el trabajo realizado para superarlos, los obstáculos siempre exigen nuevos trabajos (Rumelhard, 1996), en un proceso que recuerda la elaboración del duelo. En estas condiciones, inducir a los estudiantes a reconocer las manifestaciones de los obstáculos puede constituir una defensa interesante, pues suele proporcionarles un medio de evitarlos en las ocasiones en que vuelven a manifestarse; esta capacidad de reconocimiento que procura promover el trabajo reflexivo sobre los obstáculos podría llevar a los alumnos a desarrollar una vigilancia crítica en relación con los obstáculos puestos así de manifiesto. Reencontramos aquí la idea bachelardiana de vigilancia del pensamiento: lo importante es desarrollar una sensibilidad al obstáculo que permita vigilarlo y descubrir sus reapariciones.

> identificarlos para mantener una vigilancia del pensamiento

1.2. El juego del modo local y el modo transversal

Para comprender el carácter resistente, siempre presente, de los obstáculos y el modo como se puede encarar su tratamiento, parece importante hacer una distinción. A menudo los obstáculos se designan y se trabajan de una manera "local" que depende estrechamente de un contenido. Ahora bien, desde nuestro punto de vista, en ese caso se trata de *manifestaciones del obstáculo* más que del obstáculo mismo que abarcaría modos de pensamiento mucho más transversales.

La red de la figura 1 procura explicar cómo podrían contribuir los modos del pensamiento general a generar representaciones locales referentes a un campo del contenido especificado (la nutrición y el crecimiento de los vegetales verdes).[3] Tales representaciones pueden evaluarse en términos de verdadero/falso y corresponden más bien al registro del error. Este es el caso de las formulaciones que aparecen a la derecha de la red, próximas a las que ofrecen los alumnos cuando se los alienta a expresar sus ideas sobre un contenido y que los docentes juzgan falsas o parcialmente falsas. En cambio, los mo-

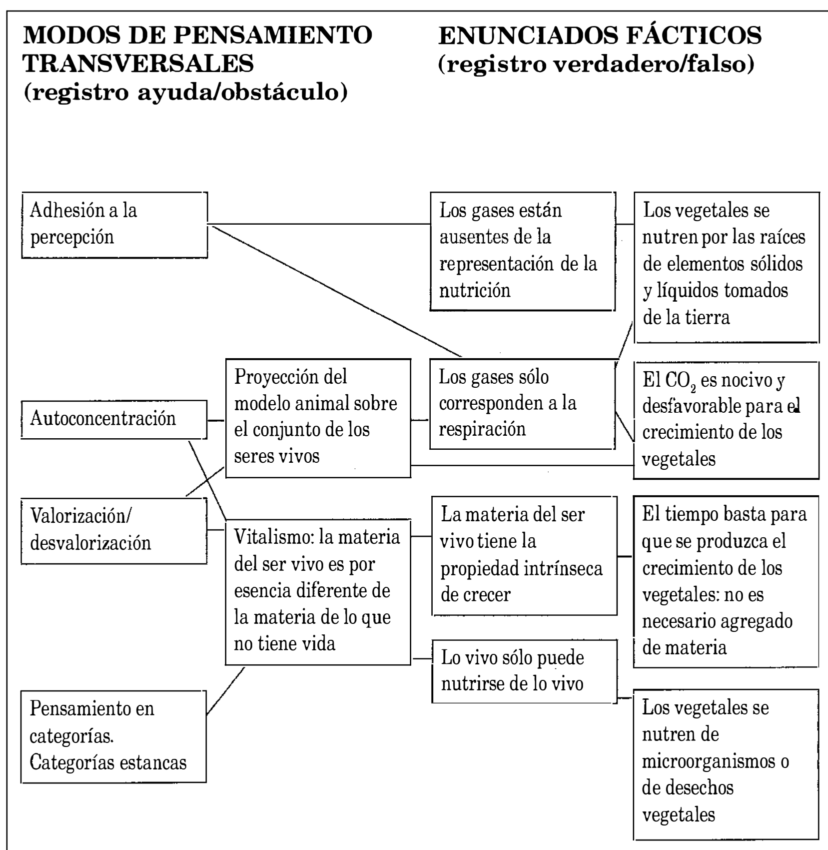


Figura 1

dos de pensamiento que figuran a la izquierda de esa misma red y que presentan un carácter interpretativo en comparación con las producciones de los alumnos sólo pueden juzgarse en relación con una dinámica del pensamiento, en términos de ayuda a la comprensión (como soporte disponible para la inteligibilidad de los fenómenos) o de estorbo (como elementos que dificultan el pensamiento o producen representaciones erróneas).[4] Ninguno de estos modos de pensamiento mencionados es intrínsecamente un obstáculo. Hasta podría decirse que son necesarios al pensamiento. Así, la proyección del modelo animal al conjunto de lo vivo corresponde al razonamiento por analogía, a menudo fecundo en el pensamiento científico. Tal

proyección puede constituir una fuente de cuestionamiento fructífero sobre los seres vivos. Sólo constituye un obstáculo en la medida en que sea implícita y se la utilice como sustituto de una explicación, en la medida en que cierre la reflexión suscitando respuestas antes que preguntas.

el obstáculo explica el error

Si el trabajo sobre los obstáculos se limita a un nivel local, que evidentemente es necesario por cuanto constituye la entrada en los problemas científicos, no es sorprendente que se produzcan nuevas manifestaciones al tratar otros contenidos. El obstáculo puede estar aparentemente "superado" en lo que se refiere a un contenido dado (ya no volver a olvidar, por ejemplo, que el CO_2 también constituye una fuente nutritiva para los vegetales). Sin embargo, ese obstáculo no ha sido superado en un nivel más global (hacer funcionar, por ejemplo, como primera identificación, la referencia a lo apreciable), sino que sólo ha sido "fisurado". Hasta podría decirse que en tal nivel nunca se lo puede superar por completo. En cambio, en ciertas condiciones puede identificárselo. Razonablemente puede pensarse que el hecho de reconocer el obstáculo en un nivel más transversal favorece la transferencia de un tipo de contenido a otro. Con la condición, además, de que el sujete agregue efectivamente manifestaciones locales, sin lo cual, las designaciones transversales corren el riesgo de quedar desprovistas de sentido. En suma, aparentemente lo más interesante, no del orden de lo local ni del orden de lo general, sino que corresponde, antes bien, al establecimiento de vínculos entre esos dos niveles, en su relación dialéctica. En el juego del paso de uno al otro, donde las formulaciones intermedias como las que ocupan el centro del cuadro pueden desempeñar un papel importante, es donde hay más probabilidades de hallar las condiciones óptimas del desarrollo de la vigilancia deseada.

tomar conciencia de los vínculos entre error local y obstáculos transversales

2. ¿Qué significa identificar un obstáculo en el marco de la clase?

El obstáculo constituye un proceso complejo cuya comprensión no es inmediata. Asimismo conviene preguntarse qué es identificable en relación con ese obstáculo en el contexto escolar, dando por sentado, evidentemente, que pueden aparecer grandes variaciones en función de la edad, el medio sociocultural y el nivel escolar de los alumnos. Luego podemos interrogarnos sobre cuáles son las condiciones que favorecen la aparición de tal o cual tipo de formulación.

2.1. Las diferentes dimensiones de la identificación de obstáculos

A título indagatorio, se crearon algunas situaciones de "identificación de obstáculos" en diferentes niveles de clase (al final del ciclo elemental, en sexto y tercer año de la escuela media y en segundo del nivel secundario). Más adelante veremos algunos aspectos de esta experiencia. Estas situaciones ofrecieron la ocasión de expresar diversas formulaciones referentes a los obstáculos, producidas, según el caso, por los alumnos, por el docente al dirigirse a los estudiantes o en una interacción entre docentes y alumnos.

Hemos distinguido diferentes aspectos de esas formulaciones situándolas según algunos ejes (o dimensiones). Sus combinaciones determinan registros en los cuales se habla del obstáculo, en algunos casos registros más próximos a una designación de error y en otros, más próximos a una designación del obstáculo como una función dentro del pensamiento. Puede ser interesante preguntarse sobre lo que permite esperar la aparición de tal o cual registro en cuanto al reconocimiento del mismo obstáculo en situaciones ulteriores. Evidentemente, en el caso de formulaciones semejantes, hay que esperar un grado de adhesión mayor si la formulación fue producida por el sujeto mismo, antes que por el docente o por otros alumnos y, por lo tanto, una mayor probabilidad de movilización ulterior (Cauzinille y Melot, 1993).

- *La dimensión reflexiva, condición de la actividad metacognitiva*

La identificación de un obstáculo supone su designación, que puede presentarse de una manera u otra y cuyas variantes e implicaciones examinaremos luego. Pero hay una condición previa indispensable: la de un distanciamiento reflexivo. La referencia al sujeto pensante en un enunciado es un indicador. Manifiesta en efecto una especie de desdoblamiento del sujeto, el que formula la proposición y el que la proposición designa como sujeto del pensamiento enunciado. Puede tratarse de uno mismo en el pasado o de otra persona diferente, individual o colectiva. Lo que le permite a la persona que habla separarse de la idea designada es el índice de una mirada exterior, de segundo grado. Y es allí donde la identificación de obstáculos se diferencia de una simple identificación de representaciones tal como aparece en ciertas fases iniciales del trabajo, cuando se invita a los alumnos a expresar sus ideas en relación con un problema dado, sin tomar la debida distancia.

> un desdoblamiento del sujeto...

En las formulaciones producidas en situación de clase, esta referencia aparece de manera más o menos explícita.

Referencia explícita al sujeto

<u>Creíamos</u> que sólo había un estado por materia	CM2*
Si <u>ella lo dice</u>, creo que lo hace por analogía con el ser humano	2º
<u>Para ellos</u>, el gas carbónico no puede hacerse líquido y sólido	CM2
<u>Yo no había entendido</u> que una planta no crece sola	6º

Referencia implícita al sujeto

El agua <u>era</u> siempre líquida	CM2

En virtud de la relativización que introduce, este movimiento de atribuir ideas a personas se opone a la dogmatización. En efecto, las ideas ya no se toman como absolutas ni se considera que designan verdades en sí mismas. Este cambio de punto de vista abre la posibilidad del examen crítico. Ade-

* CM2: corresponde a alumnos de entre 10 y 11 años. [T.]

más facilita un desplazamiento desde las consideraciones que se adhieren demasiado exclusivamente a un contenido dado hacia consideraciones que interesan al sujeto pensante en su relación con ese contenido. Y este quizá sea un paso hacia un reconocimiento de los obstáculos como dinámica del pensamiento, antes que como idea falsa.

> ... que permite una relativización

A fin de iniciar el proceso de identificación de obstáculos en una clase y orientar a sus alumnos hacia ese tipo de formulación, a veces los docentes emplean tales designaciones del sujeto en las consignas de partida o las reformulan en el transcurso del trabajo (*¿qué <u>pensábamos nosotros</u> al comienzo y qué <u>nos</u> impedía comprender?*).

- *De lo local a lo transversal*

Ya mencionamos antes esta dimensión del carácter local-transversal de los obstáculos Observamos la importancia que tiene establecer vínculos dialécticos entre esos dos niveles. Pero nos parece interesante mostrar cómo, en las formulaciones de identificación de obstáculos, esta dimensión aparece combinada con la dimensión reflexiva que tal identificación supone. El cuadro siguiente puede dar una idea de la manera en que las diversas formulaciones tienen en cuenta esta dimensión.

El lector habrá advertido que dividimos dos zonas sobre este eje.

— La primera, más local, corresponde al objeto del pensamiento. De la expresión *Creíamos que el agua era siempre líquida* a la expresión *Creíamos que sólo había un estado por materia* se pasa de una formulación local de orden fáctico a una formulación que, si bien continúa siendo fáctica, hace intervenir conceptos más generales. Este es un grado de transversalidad medio cuyo interés es evidente puesto que potencialmente permite identificar esta misma creencia en diversas situaciones de cambio de estado.

— La segunda, más transversal, corresponde al modo de pensamiento. Esta zona agrupa las formulaciones que se

LOCAL

↕

Objeto del pensamiento

Local Fáctico	*Creíamos que el agua era siempre líquida*	CM2
General Abstracto	*Creíamos que había un sólo estado por materia*	CM2

Modo de pensamiento

Si ella lo dice, creo que lo hace por analogía con el ser humano	2º, espontáneo
Porque uno tiene la costumbre de verlos así en la vida de todos los días	CM2

TRANSVERSAL

interesan en el modo de relación entre el sujeto y el objeto antes que en el objeto mismo. Aquí quien habla se aproxima más a un registro que designa el objeto antes que al error. Es dable suponer que si este tipo de formulación tiene verdaderamente sentido para el sujeto, es decir, si para él evoca situaciones precisas en las que resulta aplicable, podrá ser luego evocada nuevamente en un campo más amplio de situaciones.

> del objeto a la relación entre el sujeto y el objeto

Como las formulaciones más espontáneas se sitúan sobre todo del lado local, el interés está en tratar de suscitar desplazamientos hacia lo transversal o bien multi ejemplificaciones capaces de iniciar tales desplazamientos. Pero esta transversalidad puede tener diversos grados y, además de procurar establecer una dialéctica entre lo local y lo transversal, conviene interrogarse en cada situación sobre el grado de transversalidad que sea a la vez de fácil acceso para los alumnos y de la mayor fecundidad posible en cuanto a su identificación posterior. No siempre lo más transversal es lo más pertinente desde ese doble punto de vista. Por ejemplo, cobrar conciencia de que uno no toma realmente en consideración los gases como

materia puede ser más fecundo que darse cuenta de que uno tiende a referirse únicamente a lo perceptible.

• *De la designación de la idea que constituye un obstáculo a las consideraciones sobre su dinámica de funcionamiento*

Hemos observado ya que la distancia reflexiva que se logra al atribuir ideas a un sujeto libera una dimensión de indagación crítica de tales ideas. Este examen puede dar lugar a juicios, pero también a explicaciones sobre su aparición y sobre su persistencia. El siguiente cuadro nos ayudará a comprender cómo intervienen estos aspectos en las formulaciones sobre los obstáculos.

Expresión de juicios	Valor de verdad	*Creíamos que había un sólo estado por materia*	CM2
		Creíamos que lo que era invisible no existía; es falso	CM2
		En una reacción química lo que se conserva no es el cuerpo simple, sino los elementos	2º
Expresión de juicios / **Expresión de aspectos dinámicos del obstáculo**	Juicios funcionales: induce al error, impide comprender	*La confusión entre mezcla y reacción química impide comprender que una oxidación pueda darse partiendo de algo diferente del O_2 del aire*	Profesor, sobre un trabajo de 3º*
Expresión de aspectos dinámicos del obstáculo	Justificaciones, explicaciones	*También es cierto, porque las plantas también crecen con tierra*	6º
		Si ella lo dice, creo que es por analogía con el ser humano	2º
		Es más fácil pensar en un simple desplazamiento de la unión O_2 del aire	Profesor de 3º
Expresión de aspectos dinámicos del obstáculo	Resistencia del obstáculo	*Porque uno creía que era así al comienzo después continuó creyéndolo durante tanto tiempo que ahora hace falta que... que uno sepa que no es así... a veces, sin pensarlo bien, por no prestar atención, uno dice "aire" en lugar de vapor*	CM2

* Curso al que asisten alumnos de 15 años. [T.]

La dimensión del juicio oculta parcialmente la expresión de aspectos dinámicos o funcionales del obstáculo. Pero lo hace sólo parcialmente.

En efecto, pueden emitirse juicios referentes a una proposición, sin incluir ninguna consideración dinámica. Es el caso de los juicios de verdad, es decir de los que atribuyen un valor en términos de verdadero o falso, como ocurre mediante el empleo del verbo *creer* en nuestra primera formulación. Esa constituye una etapa interesante y necesaria, pero está próxima a la designación del error.

del concepto de verdadero/falso...

Los aspectos dinámicos del pensamiento sólo comienzan a abordarse cuando se ponen en primer plano elementos que precisan en qué sentido el obstáculo impide comprender. Para hacerlo se expresa un juicio negativo, como vimos en el caso anterior. Pero, se adopta un registro que se aleja de la identificación del error, para abordar más específicamente la comprensión del obstáculo como función dentro del pensamiento.

...a los aspectos dinámicos del pensamiento

Cuando se expresan juicios positivos, como en la frase *También es cierto, porque...*, se aborda la expresión, en cierto modo paradójica, del doble aspecto dinámico de los obstáculos: si una representación se transforma en un obstáculo, es porque en ciertos planos también es pertinente.

Otro aspecto dinámico del funcionamiento del pensamiento aparece cuando se evocan justificaciones o explicaciones de la producción de proposiciones reconocidas como falsas. Así estas quedan de algún modo enmendadas. Esto es lo que ocurre cuando se evocan modos de pensamiento generales, legítimos en sí mismos, por cuanto constituyen una explicación de errores, como en la proposición *Si ella lo dice, creo que lo hace por analogía con el ser humano*. La referencia corresponde aquí al orden del origen y de la dinámica de producción del error. Se abandona el terreno del juicio para abordar un registro interpretativo que constituye un cambio de actitud en relación con el error: en lugar de

un cambio de actitud: el error como objeto que interesa comprender

designarlo como tal, con el matiz de fallo al que está asociado, se procura considerarlo como objeto que resulta interesante comprender.

Estas consideraciones sobre el proceso que explica el error son tan importantes para comprender la dinámica de funcionamiento del obstáculo como las que se refieren a lo que el obstáculo impide que, por lo demás, son menos frecuentes. En efecto, tales consideraciones permiten comenzar a comprender su persistencia. Además, es probable que el hecho de cobrar conciencia de la persistencia misma del obstáculo, como aparece en la última formulación de nuestro cuadro, contribuya a favorecer la vigilancia crítica que se pretende inculcar.

- *En el límite de la identificación del obstáculo*

A veces el obstáculo se evoca de manera indirecta, en formulaciones conceptuales positivas, pero que ponen de manifiesto ciertos aspectos relacionados con él. Es el caso de la siguiente frase producida por un docente:

El dióxido de carbono gaseoso contribuye a la formación de la materia sólida de la planta.

El obstáculo no se designa como tal, pero se introducen los términos *gaseoso* y *sólido* a modo de referencia al obstáculo que consiste en tratar los gases como una clase estanca de materia. Si este docente prefiere hacer ese tipo de formulación en vez de optar por una referencia más directa al obstáculo, ello se debe, según sus propias palabras, a la preocupación por evitar el choque con sus alumnos que implicaría remitirlos a sus propias insuficiencias; porque las situaciones de trabajo de los obstáculos a veces suscitan reacciones emocionales profundas.

> ¿no designar el obstáculo mismo para evitar la inseguridad?

La expresión directa del obstáculo (del tipo, *uno no creería que un gas pueda contribuir a formar materia sólida*) tiene en cambio la ventaja de señalar más explícitamente aquello que constituye un problema, da la seguridad de que se ha tomado plena conciencia del obstáculo y ofrece un apoyo explícito al reconocimiento ulterior de sus futuras manifestaciones. Porque, si bien los términos *gaseoso* y *sólido* de nuestra formulación anterior están claramente presentes en la atención del

docente, no resulta claro que también lo estén en la de los alumnos. Aquí vemos como se gesta una tensión entre dos dificultades, tensión para la cual hay que buscar soluciones.

Con esta orientación, se ha llegado a proponer que en lugar de hacer que los alumnos identifiquen explícitamente un obstáculo, conviene ritualizar formulaciones inversas del obstáculo: *Cada vez que escribáis "dióxido de carbono", escribiréis "gaseoso".*

Las formulaciones siguientes ofrecen otro tipo de solución: *Lo que se conserva en una reacción química no es el cuerpo simple, sino el elemento* (profesor de 2º) o *No es como en el caso de las personas; el dióxido de carbono entra y no es nocivo* (alumno de 6º). Estas expresiones combinan en un mismo enunciado una formulación directa del obstáculo, con la forma *no es como* y una formulación del conocimiento al que se apunta. Este tipo de formulación presenta la ventaja de mostrar explícitamente la articulación entre la construcción de conocimiento y el modo de evitar el obstáculo, como dos fases de un mismo proceso de diferenciación.

- *Registros que no aparecen en clase*

Este análisis nos aclara los aspectos según los cuales los obstáculos aparecen efectivamente en las formulaciones producidas en clase por los alumnos o por los docentes. Ciertos registros, que sin embargo hubieran sido interesantes en cuanto a la identificación de los obstáculos, no se dan en clase, por la sencilla razón de que no surgieron en ninguna secuencia de clase.

— Un registro epistemológico, en el sentido general y "noble" del término tal como lo definen los epistemólogos: uno no se interroga, por ejemplo, sobre el carácter "realista" o "empírico" del pensamiento. En cambio se interroga sobre el papel que desempeña la percepción en el proceso de aparición de las ideas, sobre el papel del pensamiento por analogía... Si no se examina el marco epistémico, como estructura global que organiza el punto de vista sobre el saber, ciertos aspectos que le conciernen aparecen sólo de manera parcial. Esto ya constituye un progreso significativo en una cantidad importante de casos.

— Un registro que corresponde a determinaciones inconscientes y cargadas afectivamente cuya importancia ya fue señalada por Bachelard y Canguilhem. Y aquí es donde nos apartamos de la perspectiva bachelardiana. Este mismo proceso fue identificado por Orange (1993) de manera más general en la concepción un poco reductora de los obstáculos que se expresa en los medios didácticos cuando se intenta tomarlos en consideración. ¿Se trata de imposibilidades intrínsecas vinculadas con la cultura escolar y con la dinámica del trabajo en clase o incluso con la edad de los sujetos puesto que se trata de alumnos muy jóvenes o bien de una dedicación insuficiente en esa dirección por parte de los didactas? Si bien no es posible dar una respuesta a esta pregunta, se puede afirmar en cambio que en ese contexto tales registros son los que surgen menos espontáneamente. También se puede afirmar que la identificación de otros aspectos de los obstáculos constituye, así y todo, un progreso sustancial.

¿zonas de sombras inevitables?

Por otra parte, es importante no perder de vista que, sea cual fuere el abanico de registros en que se identifique el obstáculo, teniendo en cuenta su carácter multiforme, nunca puede identificarse por completo. Inevitablemente persistirán zonas de sombra y no es posible esperar que esta identificación surta un efecto mecánico que permita evitar los obstáculos. Se trata, más modestamente, de desencadenar un proceso de vigilancia de ciertos aspectos del pensamiento.

2.2. Los soportes simbólicos

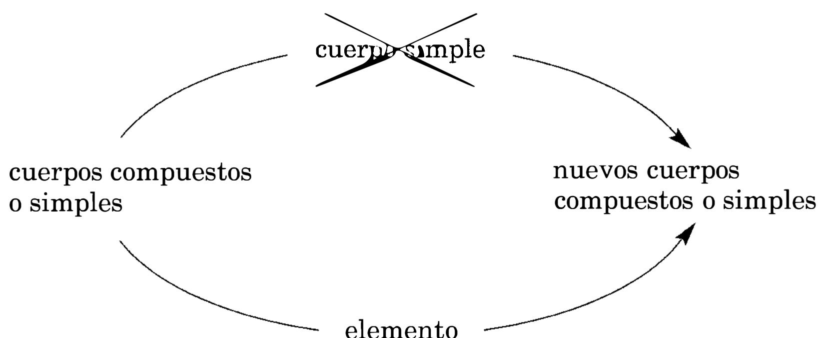
Los soportes simbólicos que se empleen desempeñan funciones específicas en la dinámica de identificación de obstáculos (Vérin, 1995). Nuestros trabajos anteriores nos llevan a pensar que la alternancia entre palabra oral y producción de escritos, por el soporte mutuo que representan una para la otra, facilita la aparición y la estructuración de un pensamiento distanciado (Astolfi, Peterfalvi y Vérin, 1991). Los momentos de discursos orales, en situaciones de intercambio

dentro de pequeños grupos, favorecen la fluidez de las ideas, mientras que consignar la palabra en textos escritos las estructura y permite retener datos sobre los cuales se podrá echar una mirada nueva en otra fase del trabajo. Esto ayuda a tomar conciencia de las evoluciones o los contrastes y facilita la adopción de una postura reflexiva. De manera más general, hemos podido observar que el paso de un soporte simbólico a otro contribuye a tomar esa distancia. Hablar sobre lo escrito, escribir sobre la palabra oral, esquematizar un discurso, hacer explícito un esquema son todos pasos que incitan a adoptar un punto de vista de segundo grado en relación con el soporte de partida.

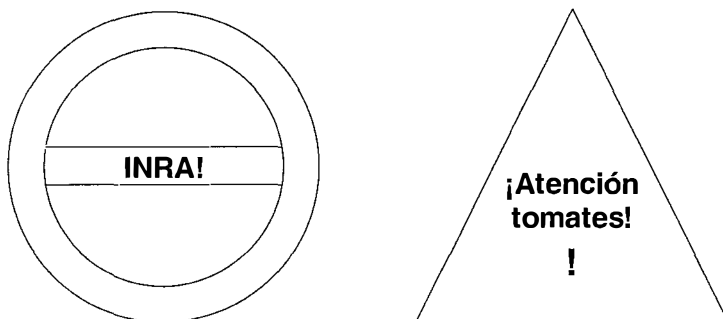
> Cambio de soportes para adoptar una mirada distanciada

La realización de organigramas o esquemas desempeña una función específica en la economía de la identificación de obstáculos.

- La primera función de algunos de ellos es manifestar de manera explícita la idea que constituye un obstáculo. Por ejemplo, este esquema producido en una clase de Segundo, que propone un recorrido figurado del obstáculo que se procura evitar en cuanto a la comprensión de la reacción química. El esquema introduce aquí un sistema de correspondencia que en el discurso aparece de manera menos directa.



- En otros casos, su función primaria es recordar la idea obstáculo, en situaciones nuevas. Tomemos el ejemplo de estas dos figuraciones, producidas en una clase de biología de Sexto, después de una secuencia basada en un problema de cultivo de tomates en invernáculos realizados por el INRA.[5]



Estos son disparadores que se refieren a un recuerdo común de manifestación explícita del obstáculo. Aquí se han seleccionado aspectos circunstanciales, evocadores de la situación en la que el obstáculo fue puesto de relieve de manera explícita. A diferencia del esquema anterior, este no expresa en modo alguno la representación que constituye el obstáculo. Sin embargo, el segundo hace referencia a la función obstáculo y apela directamente a la vigilancia.

> esquemas que funcionan como disparadores para volver a evocar el obstáculo

El interés del empleo de imágenes o de esquemas en este proceso estriba principalmente en que permite una reevocación rápida. Por ello, tales figuraciones desempeñan un papel importante en la movilización y el reconocimiento de la idea obstáculo y en la elección de registros de pensamiento que la evitan. Estos ejemplos que mencionamos fueron efectivamente reevocados por los docentes o los alumnos en ocasión de diversas reapariciones de los mismos obstáculos.

3. En busca de situaciones favorecedoras

Los primeros intentos de crear situaciones de identificación de obstáculos permitieron determinar algunos problemas y sugerir algunas pistas sobre las modalidades de trabajo que favorecen la toma de conciencia de los obstáculos y su reconocimiento en situaciones nuevas.

3.1. Apropiación de la problemática por parte de los docentes

Si bien está presente en el nivel del principio desde las primeras fases de la indagación, la idea de identificación de obstáculos por parte de los alumnos requirió cierto tiempo para imponerse entre los docentes. Probablemente a causa de la distancia que separa este concepto del hábito didáctico, los docentes necesitaron un tiempo para apropiarse de tal problemática. Sólo después de haber experimentado la resistencia de los obstáculos a través de diversas modalidades de trabajo de las cuales esperaban una influencia decisiva, los docentes reconocieron el interés de principio de este tipo de trabajo. Se plantearon entonces problemas de instrumentación, pues la construcción de tales situaciones se reveló como una tarea nada sencilla. De modo que intentaron resolver estos problemas a medida que se presentaban en los sucesivos ensayos. Para hacer más sencilla la construcción de situaciones de clase, hemos consignado las modalidades de trabajo de los intentos sucesivos en un cuadro que tiene por objeto facilitar las tomas en préstamo mutuas y las recomposiciones en situaciones nuevas.[6] Esta herramienta distingue tres "principios dinámicos" que permiten identificar el obstáculo y propone para cada uno de ellos una variedad de situaciones favorecedoras.

> una práctica ajena a la costumbre

— La manifestación explícita del obstáculo, en la cual intervienen las diferentes dimensiones examinadas anteriormente.

— La simbolización del obstáculo que apunta a integrar la identificación efectuada en la red de evocaciones familiares.

— La incitación a reconocer el obstáculo en sus nuevas apariciones.

La mayor parte de las actividades propuestas corresponden además al nivel de la manifestación explícita del obstáculo.

3.2. Algunos ejemplos de situaciones propuestas

Recordemos que sólo es posible crear a posteriori estas situaciones en las que se induce a los alumnos a producir formulaciones sobre los obstáculos. Tales situaciones pueden apoyarse en fases anteriores en las que se han vivido conflictos cognitivos o sociocognitivos y que han dejado huella en la memoria o en registros escritos. También pueden apoyarse, más sencillamente, en una enseñanza anterior más clásica. Podemos citar, a título de ejemplo, algunas modalidades de trabajo de los primeros intentos.

— Después de un trabajo sobre los obstáculos referente a los problemas de nutrición vegetal en una perspectiva de situación problema, remitirse a las primeras producciones escritas de los alumnos a fin de tomar conciencia del camino recorrido y de la diferencia con la construcción actual.
— Elegir de una serie de formulaciones de obstáculos propuestas por el docente aquellas que parecen corresponder a los obstáculos hallados y proponer otras que se adapten más a la nueva situación.
— En un texto histórico (un texto de Lavoisier, luego de Berthelot), buscar aquello que se diferencia de las concepciones actuales de la química, "corregir" esos conceptos (de manera lúdica) y buscar los puntos comunes con errores identificados en las copias de los alumnos (lo que se busca aquí es un efecto de espejo).
— Después de un trabajo sobre la nutrición de los animales y los vegetales, escribir los conceptos retenidos y completar la frase: *Esto me sorprende porque yo creía..."*

Pero, veamos los tipos de dificultades con que tropezaron los alumnos en estas situaciones y las soluciones imaginadas.

3.3. Dificultades que se presentaron durante la instrumentación

El primer tipo de problema fue el de interesar y hacer participar a los alumnos en esta actividad metacognitiva, que rara vez es espontánea, y llevarlos a producir por sí mismos formulaciones de obstáculos. Según la modalidad de trabajo adoptada aparecen dos dificultades simétricas.

— En el primer caso, el docente propone a los alumnos formulaciones de lo que, según él, constituye un obstáculo. Los alumnos quedan reducidos entonces a cierta pasividad y no toman por su cuenta lo que él dice.
— En el segundo caso, en cambio, el docente, apelando al uso de consignas de trabajo abiertas del tipo *¿Por qué olvidasteis el* CO_2 *como alimento de los vegetales?* (o bien, *¿Por qué todo el mundo tiene tendencia a olvidarlo?*) confía a los alumnos la tarea de formular por sí mismos lo que podría constituir el obstáculo subyacente. En la mayor parte de los casos, los alumnos no comprenden todavía a dónde quiere llegar el docente y no proponen ninguna formulación de obstáculo, sino que dan respuestas decepcionantes como "yo no había aprendido lo suficiente".

Se han buscado soluciones intermedias en procura de evitar formulaciones del obstáculo que estén, o bien exclusivamente a cargo de los alumnos, o bien exclusivamente a cargo del docente: por ejemplo, pedir a los alumnos que identifiquen en las formulaciones hechas por otros estudiantes la manifestación de un obstáculo más transversal formulado por el docente, buscar los puntos comunes entre varios errores, lo cual permite separar los aspectos más transversales, o bien, como en el segundo ejemplo que citamos anteriormente, de una lista de obstáculos propuesta por el docente, pedir a los alumnos que elijan aquellos que corresponden a lo que creen que han encontrado y proponer otros. Estas soluciones ofrecen un lugar cierto a la actividad propia de los alumnos, pero los guían demasiado estrechamente, a fin de orientar sus actividades. Este tipo de solución se ha propuesto con frecuencia como trabajo individual escrito presentado como ejercicio. Los alumnos, ¿las

experimentaron como demasiado escolares? ¿y se implicaron verdaderamente en ellas? Luego se buscaron soluciones que crearan una inmersión más importante en la situación. Más adelante desarrollaremos un estudio de caso en el que veremos un ejemplo de esto.

¿cómo implicar a los alumnos en la actividad metacognitiva?

El segundo tipo de problema está ligado a la comprensión del concepto de obstáculo. El trabajo de identificación de obstáculo se ha confundido a menudo con el de indicación de errores. Se está entonces en una lógica de verdadero/falso, cuando en realidad, según hemos podido comprobar, para que la toma de conciencia de los obstáculos pueda tener ulteriormente alguna repercusión, parece más adecuado que se evoque el nivel de la dinámica de pensamiento subyacente. El paso del registro de lo verdadero/falso local o del "yo no sabía" al registro de la ayuda/obstáculo, más transversal, no se logra de manera sencilla. Las actividades de identificación de puntos comunes entre errores diferentes ya evocadas constituyen un intento de solución para este problema. Pero, en la mayor parte de los casos, fue necesario hacer reformulaciones múltiples de las consignas a fin de orientar a los alumnos hacia los registros deseados.

¿cómo hacerles comprender que el obstáculo no es ni un error ni una laguna?

El tercer tipo de dificultad estriba en las manifestaciones afectivas violentas que aparecen en ciertos casos cuando se coloca a los alumnos en situación de confrontar materialmente sus propias producciones anteriores que, a posteriori, ellos juzgan malas. Lo que aparentemente ocurre es que, para sorpresa de los docentes que descontaban una valorización vinculada con la conciencia de los progresos realizados, los alumnos se sienten afectados por la mala opinión que tienen actualmente de su producción anterior. *Ah, seguramente se siente muy contenta, señora, ¡todos estábamos equivocados!*, exclama un alumno durante una de estas situaciones desarrollada en clase de Sexto. Estas manifestaciones se oponen a una mirada distanciada que exige cierta serenidad. En la situación evocada en la clase de Sexto, la docente procura, después de esta manifestación negativa colec-

¿Cómo evitar la desvalorización?

tiva, “rehabilitar” ante los ojos de sus alumnos su primeras producciones. Para lograrlo, les hace indagar en qué sentido aquellas ideas les *impedían comprender*, pero sobre todo en qué *también les era útiles,* tratando de ese modo de justificar a los ojos de sus alumnos el hecho de que ellos podían legítimamente haber tenido esa idea. Al pasar, podemos observar que esta modalidad de trabajo constituye una solución simultánea para dos problemas: restablecer una imagen positiva de los alumnos en cuanto a sus capacidades intelectuales, pero también orientarlos hacia un registro que tome en cuenta los aspectos dinámicos del funcionamiento del obstáculo. La utilización de textos históricos, como lo mencionamos antes, constituye también un medio de tomar distancia lo que permite evitar ese tipo de cuestionamiento personal. Esta táctica contribuye a hacer considerar los obstáculos no como carencias personales sino como una característica universal del pensamiento en construcción. También se imaginaron otros tipos de mediaciones, como veremos en nuestro estudio de caso.

Esta desdramatización nos parece importante en relación con el espíritu de nuestro proyecto. Como dice Michel Fabre: “El inconsciente bachelardiano no es trágico (como el de Freud), es más bien cómico” (Fabre, *ibid.*) En otro registro, Larochelle y Désautels evocan esta misma preocupación cuando escriben: ”En suma, se trata de favorecer la ocasión de ejercer una “democracia epistemológica”, tomando conciencia de que hay diversos puntos de vista, una multiplicidad de argumentaciones, etc. y no de provocar una perturbación epistemológica en un modo personal y con intención de “forzar” a las personas en el plano cognitivo. De modo que no es una especie de provocación psicológica deliberada que, con el pretexto de movilizar a las personas, las hiere” (Larochelle y Désautels, *ibid.*).

2.4. Algunas pistas para resolver estos problemas

En resumidas cuentas, los primeros intentos nos enseñaron que los escollos que debemos evitar son los siguientes: el desinterés de los alumnos, la proposición de formulaciones que no correspondan al registro de los obstáculos, las reacciones afectivas desvalorizantes.

El objetivo es lograr que los alumnos mismos contribuyan a formular consideraciones sobre qué los induce a error o detiene el proceso del pensamiento, de un modo que relacione los modos de pensamiento más o menos transversales (*Tenemos tendencia a no pensar en lo que no vemos*) y a formular juicios sobre errores de orden local (*creíamos que los vegetales verdes se alimentaban únicamente del agua y las sales minerales*). También se apunta a que los alumnos pongan distancia entre sus equívocos iniciales y su propia persona, a fin de considerarlos como un proceso compartido y, sobre todo, necesario para la construcción del pensamiento. Finalmente, lo que se procura es que esas consideraciones continúen estando disponibles el mayor tiempo posible para ser utilizadas en otras situaciones.

Los siguientes aspectos de las situaciones pueden contribuir a alcanzar tales objetivos:

finalización de la actividad, largo plazo y mediaciones

- finalizar las actividades: es una manera de lograr que los alumnos se interesen realmente en la tarea propuesta;
- aplicar las conclusiones obtenidas en el largo plazo: es un modo de poder identificar manifestaciones diferentes del mismo obstáculo en contextos diferentes y de producir formulaciones más transversales; esto ayuda asimismo a tomar conciencia del carácter a la vez funcional y resistente del obstáculo; esta conciencia contribuye a desarrollar la vigilancia crítica deseada.
- procurar determinar los desfases o mediaciones: el hecho de tratar de identificar los obstáculos que se presentan en el pensamiento de otro antes que directamente en el propio (otros alumnos, documentos de divulgación, textos históricos) permite evitar la autodesvalorización y el retraimiento vinculado con fuertes reacciones emocionales.

El siguiente dispositivo, elaborado después de los primeros ensayos, procura integrar estas dimensiones.

4. Un dispositivo aplicado en la escuela primaria que permite identificar obstáculos en el tema de los cambios de estado

Esta situación les fue propuesta a alumnos de una clase de CM2 (final de la escuela elemental)[7] después de desarrollar un trabajo de largo plazo sobre la evaporación del agua, la disolución y los cambios de estado, según una lógica de objetivo-obstáculo. El docente se concentró en el tratamiento de una red de obstáculos vinculados con la dificultad de concebir la existencia de lo que no puede percibirse directamente, con el carácter estanco de las categorías correspondientes a los diferentes estados de la materia (una sustancia líquida es por naturaleza líquida y no puede transformarse en sólido o en gas) y con los problemas de vocabulario respectivos (el empleo del término "hielo"*, por ejemplo, para designar el agua en estado sólido, que refuerza el obstáculo precedente). El trabajo puso en juego una serie de actividades que llevaron a los alumnos a manifestar explícitamente sus representaciones sobre esos fenómenos y a plantear una serie de problemas relacionados con estos obstáculos, problemas que resolvieron, al menos parcialmente, con el apoyo de actividades experimentales. Después de un trabajo basado en aspectos esencialmente fenomenológicos, las actividades de modelización contribuyeron a ofrecer explicaciones de los fenómenos estudiados. Sólo después que se realizaran todas estas actividades se propuso a los alumnos una secuencia en la que ellos mismos identificaran los obstáculos.

> después de desarrollar una serie de actividades sobre los cambios de estado

4.1. El principio de la secuencia

Esta secuencia apela a un principio cuyo interés fue señalado por varios autores: el de que los alumnos se enseñen recíprocamente (Bachelard, 1938; Barnier, 1994). En la presentación de la *utopía escolar* que propone, Bachelard lo expresa en los siguientes términos:

> En nuestra opinión, este es el principio fundamental de la pedagogía objetiva: *aquel a quien se le enseña también debe enseñar*. La instrucción que se recibe y no se transmite forma espíritus sin dinamismo, sin autocrítica. En las disciplinas científicas sobre todo, tal instrucción petrifica como dogmatismo un conocimiento que debería constituir un impulso para un proceso inventivo. Y sobre todo, no ofrece la experiencia psicológica del error humano. [...] Creemos, en efecto, que en una enseñanza viva siempre está en juego una serie de matices filosóficos: *una enseñanza recibida es psicológicamente un empirismo; una enseñanza dada es psicológicamente un racionalismo.* Te escucho, soy todo oídos. Te hablo, soy todo espíritu. (Bachelard, 1938, pp. 244-246)

En una investigación anterior que estudiaba esas modalidades de trabajo (Peterfalvi y Adamczewski, 1985), descubrimos el efecto intensamente estructurante que ejerce este tipo de situación en el alumno puesto en posición de enseñar. Gracias a la dinámica intelectual que suscita esa situación, los alumnos participan con entusiasmo en una actividad que articula una mirada retrospectiva sobre sus concepciones de partida y la estructuración de sus conocimientos. Estas situaciones favorecen una mirada racional y reflexiva.

La situación experimentada retoma así aquel principio para identificar los obstáculos: se anuncia a los alumnos que en una próxima clase habrán de enseñar a otro lo que aprendieron dos años antes respecto de la evaporación del agua. Con ese objetivo se los invita a explorar sus propias ideas de partida sobre el asunto y los problemas de comprensión que experimentaron entonces, *porque es probable que los compañeros tengan las mismas ideas, que encuentren los mismos problemas y que sea necesario ayudarlos a comprender*. Así, la indagación de sus propias representaciones y sus propios obstáculos superados se remite a los que han de encontrar los otros alumnos, sin necesidad de que los estudiantes se apoyen materialmente en sus producciones anteriores erradas. Esto evita la autodesvalorización. Además, de este modo se da por finalizada aquella indagación con lo cual se logra que los alumnos se comprometan con la tarea. Esta dinámica se ve reforzada por la forma que se le da al trabajo escrito: los alumnos escriben un solo texto en-

> volver a repasar los propios obstáculos para enseñar a otros

tre varios y cada uno formula no sólo los obstáculos que encontró en su propio caso, sino también los que descubrió en los demás. En esta nueva tarea, no importa quién había manifestado antes una idea; por el contrario, el hecho de identificar un obstáculo se vive como un aporte positivo para el trabajo del grupo.

Obsérvese que toda esta reflexión sólo puede hacerse porque los alumnos tuvieron la oportunidad de expresar previamente sus ideas, de compararlas y de identificar divergencias y contradicciones, la oportunidad de plantear problemas capaces de resolver tales discrepancias y de realizar manipulaciones en relación con tales problemas. Es por ello que ahora están en condiciones de reflexionar apoyándose en el recuerdo de conflictos más o menos resueltos, pero expresados como tales en un período anterior.

4.2. Las etapas de la actividad

Veamos a continuación las etapas sucesivas de la actividad propuesta. Seguiremos la evolución de las formulaciones surgidas de las primeras proposiciones de un grupo de cuatro alumnos.

❶	❷	❸	❹	❺	❻
Identificación de ideas obstáculos	Recapitulación colectiva de los obstáculos identificados	Constitución de familias de obstáculos: hacia lo transversal	Establecimiento de vínculos entre lo local y lo transversal	Integración de los obstáculos identificados en la preparación del curso	Secuencia de enseñanza a otra clase: reconocimiento de los obstáculos

1 *Identificación de ideas obstáculos*

En pequeños grupos los alumnos reflexionan sobre lo que les molestó y sobre lo que les ayudó a comprender, con el objetivo de emplear esta reflexión para organizar la enseñanza que habrán de impartir a otros. Cada grupo sabe que tendrá la tarea de enseñar a otro pequeño grupo. Esta fase del trabajo da lugar a numerosas reformulaciones de la consigna, que

procura orientar a los alumnos hacia el registro de los obstáculos y que dista mucho de ser adoptada espontáneamente por todos (*buscamos lo que nos molestó; lo que creíamos; lo que nos fastidiaba; nos impedía comprender; la idea que nos impedía comprender*, etc.). Cada pequeño grupo debe realizar una lámina sobre *lo que nos molestaba* y *sobre lo que nos ayudó a comprender*, que leerá durante la fase colectiva que constituye el siguiente paso.

"lo que nos impedía comprender"

Un grupo de cuatro presenta en la discusión esta serie de proposiciones referentes a una dificultad que experimentaron para comprender la evaporación del agua: *Creíamos que el agua era siempre líquida... que la roca era siempre sólida... eso depende de las materias... porque así es como estamos acostumbrados a verlas... es una mala costumbre.*

Podemos observar la riqueza de estas proposiciones en lo que se refiere a las dimensiones de la expresión del obstáculo que definimos anteriormente.

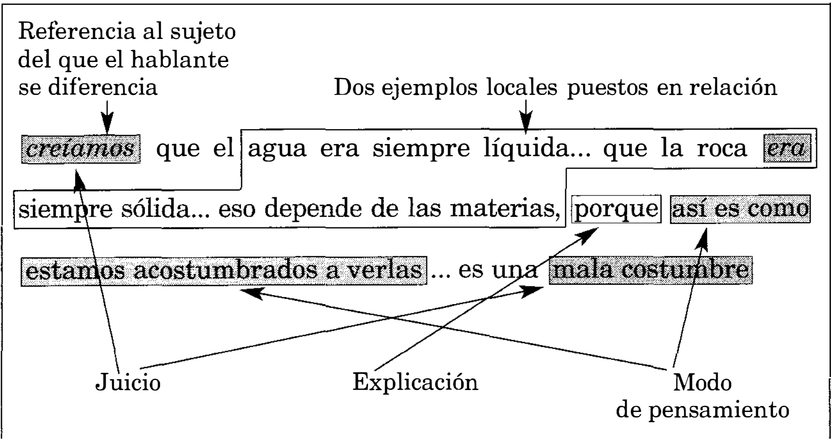


Figura 2

Aquí se expresan la referencia explícita al sujeto, un comienzo de generalización, juicios y aspectos dinámicos referentes a un modo de producción de las ideas. La dimensión de justificación de la creencia abandonada se explica mediante

un modo de producción de los conocimientos considerado legítimo (así es como estamos acostumbrados a verlas); simultáneamente aparece un juicio sobre ese modo de producción. El doble aspecto positivo-negativo de los obstáculos se expresa, pues, aquí de manera compleja.

una compleja manifestación explícita

El texto producido después de este intercambio oral —*Creíamos que el agua sólo era líquida porque así la veíamos en la vida de todos los días*— retoma el obstáculo que consiste en atribuir un solo estado a cada sustancia, pero lo expresa únicamente en el caso del agua, es decir, el tema de la enseñanza prevista. El comienzo de generalización manifestado oralmente (que la roca era siempre sólida, eso depende de las materias) se ha perdido. El obstáculo más transversal que se había expresado oralmente, a saber, que la comprensión de los fenómenos se apoya en la experiencia perceptible cotidiana, también vuelve a aparecer en el texto escrito. Pero el juicio emitido sobre esta modalidad del pensamiento *es una mala costumbre,* ha desaparecido. Sin embargo, ideas abandonadas en este estadio de la secuencia reaparecen en frases orales ulteriores.

2 *Recapitulación colectiva de los obstáculos identificados*

Durante esta etapa, el docente escribe en un cuadro las frases que proponen los alumnos sobre *lo que les molestó* (por ejemplo *el agua era siempre líquida; ¿el agua continuaba estando allí cuando se hacía invisible?; la materia sólo existía en estado sólido; El agua se transformaba en aire,* etc.). Como lo que dicen los diferentes grupos se complementa, se trata de delimitar el conjunto de dificultades posibles, que además, probablemente sean las mismas que se presenten entre sus futuros alumnos. El docente hace destacar algunas semejanzas entre las frases y escribe una sola vez aquellas que expresan una misma idea. Las modifica ligeramente después de negociar con sus autores y da prioridad a las formulaciones que más se aproximan al registro de los obstáculos en detrimento de aquellas que corresponden a la expresión *no sabíamos que...* Este modo de proceder permite avanzar un poco más en el grado de generalidad de las formulaciones que se construirán progresivamente. Como

barrer con el conjunto de los obstáculos

contrapartida, la adhesión de los alumnos a estas formulaciones probablemente sea menos intensa que si las hubiesen producido ellos mismos, palabra por palabra.

El mismo grupo dice durante la discusión: *Creíamos que el agua era siempre líquida porque así lo vemos en la vida de todos los días*. El docente escribe en el cuadro: *El agua era siempre líquida*. Esta es una expresión condensada de la primera parte de la frase. ¿Cómo interpretar el hecho de que el docente no haya conservado aquí la explicación referida a la experiencia perceptible cotidiana? ¿Quería identificar primero separadamente cada idea de obstáculo, con la intención de ofrecer mayor claridad al conjunto de los alumnos? ¿Buscaba cierta homogeneidad en el tipo de formulaciones propuestas? La lógica de "limpieza" global lo obligaba a hacer una simplificación? ¿Temía que ese tipo de consideración resultara demasiado difícil de comprender? Sea cual fuere la razón, este aspecto referente a la justificación de las ideas superadas y a la comprensión de la resistencia de los obstáculos no se coloca aquí en primer plano.

una formulación simplificada

3 *Constitución de familias de obstáculos: hacia lo transversal*

En una segunda etapa, basándose en el modo dialogado, el docente propone a los alumnos buscar "familias" de proposiciones entre las que se han asentado en el cuadro, con lo cual procura hacer surgir formulaciones de los obstáculos más transversales. Apoyándose en la discusión instaurada en clase, el docente señala con colores diferentes las frases que corresponden a las diferentes "familias". Así se agrupan en una familia designada como "los estados": *¿el agua evaporada continuaba siendo agua?, el agua se transformaba en aire* y una serie de otras proposiciones de este tipo. Así se llega a dividir las formulaciones en tres "familias": *los estados*, *porque era invisible* y *el sentido de ciertas palabras*, que, como podemos ver, no designan realmente formulaciones de obstáculos.

4 *Establecimiento de vínculos entre lo local y lo transversal*

Con el objeto de obtener esta vez formulaciones transversales de obstáculos, se propone una nueva discusión en grupo a

partir de tres frases que los alumnos juzgaron representativas y fueron inscriptas en el cuadro: *una materia que cambia de estado, cambia de materia, ¿el agua continuaba estando allí cuando se hacía invisible?, la materia sólo existía en estado sólido.*

Se invita a los alumnos a que encuentren relaciones entre esas frases, a dar ejemplos, a agregar otras proposiciones expresadas o no anteriormente. El juego de búsqueda de equivalencias (por ejemplo, la proposición, *¿una materia que cambia de estado cambia de materia* es equivalente a *una materia tenía un solo estado*?), de reformulaciones, de diferentes ejemplos conduce a los alumnos a apropiarse de las proposiciones de los otros y a relacionar los aspectos generales evocados con su manifestación en ejemplos variados. El docente va modificando el texto en el cuadro a medida que se desarrolla la discusión.

buscar ejemplos, equivalencias

Así se retoma el obstáculo expresado anteriormente por el grupo de cuatro alumnos cuyas formulaciones reprodujimos y continúa desarrollándose en una discusión en la que se relacionan líquidos y gases:

Jean-Louis: *Además, cuando vemos agua... antes no sabíamos que podía convertirse en gas, porque en la vida de todos los días, ¡siempre veíamos que el agua era líquida! Así que muy pocas veces la veíamos como gas.*

Luego el obstáculo reaparece reformulado con el empleo de la palabra "estado", más general

Jean Louis: *Bueno, no sabíamos, antes no sabíamos que el agua... ¡podía estar en forma de gas! En la vida de todos los días la veíamos en estado líquido.*

...y más tarde, unido, por incitación del docente, a un obstáculo más general por comparación con otro ejemplo:

P.: *A ver, ¿cómo es esta idea que está expresando Jean-Louis...? Porque podríamos aplicarla además a otras materias diferentes del agua. Lo que Jean-Louis decía era que para él finalmente...*

Guillaume: *que eso quiere decir que... el creía que siempre estaba en estado líquido porque así la veíamos en la vida de todos los días, mientras que en estado gaseoso ¡no la vemos casi nunca!*

P.: *Sí, de acuerdo, pero estamos hablando solamente del agua. Y, ¿si tratáramos de dar una idea más general?*

E.: *Bueno, pasa algo parecido con la vela. En la vida de todos los días, la vemos sólida, pero... ¡también podría existir en estado líquido!*

P.: *¡Ahora lo sabemos! Entonces, para nosotros el agua era siempre líquida, la cera era siempre sólida y podríamos dar además otros ejemplos. Entonces ¿sería una gran idea si tratáramos de decirlo con una sola frase?*

... formulaciones generales

E.: *Las materias... ¿muchos cambios?*

P.: *¿Muchos? ¿muchos qué?*

E.: *Muchos estados.*

P.: *Muchos estados. Ahora decimos esto, pero antes, ¿qué creíamos?*

E.: *¡Que había un solo estado por materia!*

P.: *Sí, de modo que si proponemos una frase... "Antes creíamos que una materia* (escribe en la pizarra)... *tenía sólo un estado".*

Al terminar esta secuencia se conservaron y escribieron en el cuadro dos formulaciones generales: *una materia que cambia de estado se transforma en otra materia* (considerada como equivalente a la última frase del diálogo transcripto) y *lo que es invisible no existía*, como lo que probablemente obstaculice la comprensión de los compañeros. Estas son formulaciones que se conservarán como referencia común para continuar el trabajo.

Si nos remitimos a las primeras formulaciones de nuestro pequeño grupo, podemos advertir que la formulación general que estaba en germen al comienzo ahora se ha producido efectivamente, que otros alumnos se han apropiado de ella y que fue vinculada con otros obstáculos como el relacionado con el carácter invisible de los gases. Al manifestar estas ideas, los alumnos tuvieron regresiones (abandono transitorio de una formulación generalizadora y de una formulación referente a la justificación de la idea de partida), pero estos retrocesos quedaron compensados con otros progresos.

5 *Integración de los obstáculos a la preparación del curso*

Seguidamente se invita a los alumnos a que imaginen, en pequeños grupos, situaciones que ayudarán a sus futuros "alumnos" a superar estas incomprensiones. Los proyectos de trabajo se agregan a la lámina elaborada durante la primera sesión de preparación.

6 *Secuencia de enseñanza en otra clase: reconocimiento de obstáculos*

Cada grupo de partida compuesto por cuatro alumnos está encargado de un pequeño grupo equivalente de aprendices (alumnos de una clase de CM1*). Dos de los alumnos deberán enseñar, los otros dos serán los "vigilantes de obstáculos": tendrán que escuchar las formulaciones que hagan los "alumnos" desde el punto de vista de la manifestación de los obstáculos identificados y escribir en una hoja dividida en dos columnas, correspondientes a las dos formulaciones generales de obstáculos conservadas, las manifestaciones particulares equivalentes producidas por los alumnos novatos. Esta vez se trata de inducir a los niños a reconocer un obstáculo en sus manifestaciones locales y a relacionar lo particular con lo general. Es preciso comprender que tal consigna de trabajo, que puede parecer ambiciosa, fue elaborada en un diálogo entre el docente y los alumnos y sólo es comprensible para estos últimos en relación con el trabajo realizado durante las fases precedentes.

vigilar la expresión de los obstáculos entre los alumnos novatos

Algunos grupos de alumnos hacen funcionar estas categorías de conformidad con el proyecto, aun cuando el lugar de ciertas formulaciones atestigua la dificultad de la tarea, como lo muestra la figura 3: las primeras formulaciones de cada columna, que expresan la misma idea, remiten a la convergencia de muchos obstáculos sobre una misma representación; otras, inclasificables según los criterios adoptados, como "el agua líquida es blanda", parecen haber sido ubicadas en cualquier parte; y hasta errores tales como la probable inversión entre *se juntan* y *soltaron* en las formulaciones de la última línea de las dos columnas demuestran la poca estabilidad de la nueva construcción. No obstante, el cuadro así armado surte efecto.

Otros, al no poder reconocer en lo que dicen sus "alumnos" las manifestaciones de estas formulaciones, reorganizan su herramienta de trabajo pidiéndole a cada niño que haga nuevas proposiciones. Otros dos grupos no realizan el cuadro, ya sea porque la tarea les resulta muy difícil, ya sea porque se

* Alumnos de 9 a 10 años. [T.]

Lo invisible, ¿no existe?	Una materia que cambia de estado, ¿se transforma en otra materia?
• Ellos no creen que el agua pueda recuperarse cuando se evaporó. • Creen que el vapor no puede transformarse en agua líquida. • El agua líquida es blanda. • El agua sólida es dura. • Un dibujo (sobre un papel) es una materia. • Las moléculas se juntan cuando se hace la evaporación.	• Piensan que el agua no puede recuperarse. • El agua que se hace sólida sigue siendo agua y cuando se hace gaseosa cambia de materia. • Ellos creen que el gas carbónico no puede ser líquido y sólido. • Las moléculas de los cubos de hielo no son las mismas que las del agua. • Las moléculas se sueltan en el agua.

Figura 3

identificaron demasiado con el alumno que "daba el curso". En cuanto a los alumnos-profesores, se toman muy en serio el rol que les toca cumplir y algunos hasta designan por sí mismos los obstáculos: *tal vez creéis que cuando ya no la vemos desapareció* (el agua que se ha evaporado) y a veces se sienten decepcionados cuando el obstáculo esperado no se manifiesta, lo mismo que experimentan los docentes en las situaciones de trabajo sobre los obstáculos. Podemos citar como ejemplo, este comentario un poco despechado ante una respuesta juzgada como exacta dada por un alumno: "¡No es falso!". Lo que ocurre es que los alumnos-profesores, al cumplir su función desempeñan también el rol de vigilantes de los obstáculos. ¡Y ese era el objetivo buscado! Después de esta sesión, durante las entrevistas mantenidas con una parte de los alumnos, ellos hacen girar espontáneamente sus discursos alrededor de las

ideas de sus "alumnos" que consideran sorprendentes, señal de que han reconocido los obstáculos y al mismo tiempo han logrado distanciarse de ellos.

Observemos que esta parte de la práctica, además de permitir que se identifiquen los obstáculos, para lo cual fue imaginada, constituyó una oportunidad de realizar una síntesis importante y de estructurar las ideas sobre los fenómenos evocados. En esta ocasión algunos alumnos recurrieron a los documentos que habían elaborado en años anteriores. Algunos de ellos evocaron actividades realizadas dos años antes (sobre la disolución de la sal) para indicar que el obstáculo era el mismo que presentaba la evaporación del agua y que se evocaba ahora: como el agua que se evapora, ¡la sal aparentemente desaparece! Este es un ejemplo de la forma en que pueden respaldarse entre sí la estructuración de los conocimientos y la identificación de los obstáculos.

articular la identificación de obstáculos y la estructuración de los conocimientos

4.3. A manera de conclusión

El hecho de que los alumnos investiguen los obstáculos que debieron afrontar antes con el objeto de enseñar el mismo tema a otros compañeros presenta un doble interés:

- por un lado, se da por concluida la reflexión iniciada anteriormente; esto agrega interés a la tarea propuesta e imprime una importante dinámica al proceso;
- por otro lado, el hecho de reflexionar sobre los propios obstáculos en relación con los que han de encontrar los demás permite desdramatizar la situación y evitar los cuestionamientos personales que implican una desvalorización en el nivel emocional.

Se han propuesto diversas modalidades de trabajo destinadas a que los alumnos descubran la correspondencia entre los obstáculos vistos a una luz transversal y sus manifestaciones particulares: por ejemplo, la constitución de "familias" de proposiciones relativas a las ideas identificadas y que se refieren a un nivel local, la ejemplificación de formulaciones generales

de los obstáculos y el empleo de la herramienta que constituye la referencia a dos obstáculos transversales a fin de observar las manifestaciones de éstos en un discurso que se está constituyendo. En cambio, la exploración de los aspectos "positivos" del obstáculo, iniciada, como ya vimos, en la justificación de la idea reconocida ahora como falsa (que a cada materia corresponde un solo estado), a través de un modo de producción legitimante (porque así lo vemos en la vida de todos los días) quizá no se ha desarrollado en la medida del interés que podría tener. Esta es una reflexión que deberá ampliarse durante otros ensayos, para que podamos determinar el carácter realizable de este aspecto del trabajo.

¿conviene poner el acento en los aspectos positivos del obstáculo?

5. Algunas preguntas

La fecundidad de las situaciones que hemos tratado de recrear suscita diversos interrogantes en diferentes niveles.

Las dimensiones de la identificación de obstáculos que hemos evocado se dieron de manera efectiva en el ámbito de la clase. Esto indica que la producción de ese tipo de formulaciones es posible y a veces incluso en cursos de la escuela primaria, como pudo apreciarse en el ejemplo que desarrollamos. Esto aleja el temor que pudo existir en cuanto al carácter inaccesible de este estilo de trabajo. Por supuesto, falta observar qué tipo de formulación emerge efectivamente en tal o cual situación, caso por caso.

Podemos preguntarnos si este trabajo es accesible a todos los alumnos, en función de la edad, de los estilos cognitivos, de los medios socioculturales y si es más conveniente para ciertos alumnos que para otros. En cuanto al problema de la edad, ya puede darse una primera respuesta. En efecto, instaurar estas situaciones y obtener formulaciones interesantes en el nivel de la escuela primaria no presentó mayores dificultades que hacerlo en el nivel secundario. ¿Habrá que interpretar este dato como que los niños a esa edad tienen una mayor permeabilidad a lo que se aleja del hábito escolar? En lo que concierne a los estilos cognitivos y el nivel escolar, es posible que se presenten diferencias ante este tipo de actividades. Lo que sin

embargo podemos afirmar es que, si al comienzo la capacidad de distanciarse está menos desarrollada en algunos niños, este tipo de actividad precisamente permite aumentarla. Además, nuestro análisis de las diferentes dimensiones de las formulaciones de los obstáculos puso de manifiesto las variaciones posibles y los diferentes niveles de complejidad. Es factible adaptar el tipo de formulación a las posibilidades de cada uno. Por otra parte, pudimos advertir que los niños procedentes de medios poco favorecidos manifiestan una sensibilidad particular al sentimiento de culpa vinculado con el error: se sienten más fácilmente desvalorizados, de modo que en estos casos es singularmente importante tomar precauciones en cuanto a la desculpabilización del error.

¿una actividad accesible a todos?

Pero aún restan algunos interrogantes. Las justificaciones o explicaciones del error cambian la naturaleza del contrato, dan confianza, desculpabilizan. Sin embargo, este efecto es diferente según los alumnos. Por cierto los docentes a veces se topan con la indiferencia de los "buenos alumnos": *Sienten que ése problema no les concierne,* dicen, *comprenden el tema tratado y no producen los errores que se mencionan en clase*. En cambio, para los alumnos con más dificultades, esta identificación de la fuente del error ejerce su impacto en el plano afectivo, *lo excusa de su falta*, pero debemos preguntarnos si sólo cumple esa función o si le brinda además una herramienta efectiva para identificar y evitar el obstáculo cuando este se presente nuevamente.

De una manera muy general, ¿qué producen efectivamente estas actividades en relación con la capacidad de reconocer ulteriormente el obstáculo y evitarlo? ¿Qué fecundidad tienen estas actividades para el trabajo sobre el obstáculo y para evitarlo en el futuro? Nuestro análisis no permite, por el momento, juzgar con anticipación las aplicaciones reales a que pueden dar lugar esas formulaciones. Hemos visto que algunas de ellas parecen ofrecer más posibilidades que otras. Además es posible imaginar procedimientos de trabajo que faciliten esa transferencia, como las simbolizaciones que pueden volver a evocarse fácilmente en clase, la construcción de instrumentos escritos cuya finalidad es consignar las manifestaciones de obstáculos en situaciones nue-

¿qué aplicabilidad ulterior?

vas, como el cuadro en dos columnas de nuestros "vigilantes de obstáculos"... Pero, este aspecto del trabajo deberá completarse con futuros estudios.

¿Cómo puede este tipo de actividad insertarse en la organización global de un año escolar, desde el punto de vista del tiempo y de la complementariedad con las demás modalidades de trabajo? Ya hemos subrayado la necesidad de que la identificación de obstáculos no sustituya a la elaboración de los conocimientos científicos; debe articularse con ella. A fin de esbozar una respuesta a ese tipo de pregunta, quisiéramos llamar la atención sobre el hecho de que estas actividades pueden concebirse de tres maneras diferentes: presentarse con una forma sistemática y relativamente pesada, organizadas en todos los detalles a tal efecto, como vimos en la secuencia que reprodujimos antes o, por el contrario, presentarse con una forma liviana, incidente, reducidas a un breve momento elegido según la oportunidad de la ocasión o surgidas incluso de manera espontánea durante el desarrollo de otra actividad. Si bien las formas pesadas no siempre son realizables a causa de las limitaciones del sistema escolar, constituyen sin embargo una experiencia importante que los docentes deberían tratar de instrumentar por lo menos una vez, ya que, en efecto, les permite adquirir una especial habilidad para provocar momentos de identificación de obstáculos de manera más incidente y ligera.

¿una práctica pesada o incidente?

Desde nuestro punto de vista, crear situaciones de identificación de obstáculos abre un nuevo camino en la manera de tomar en cuenta la importancia didáctica de los obstáculos. Las situaciones que se proponen con más frecuencia teniendo en cuenta ese objetivo combinan el debate entre alumnos y la confrontación con lo real en una óptica de resolución del problema científico. Ahora bien, lo que proponemos aquí, si bien complementa este tipo de procedimientos, es de un orden diferente. No necesariamente hay que recurrir al método experimental para trabajar los obstáculos en el proceso de construcción de conceptos científicos. Existen otros caminos posibles, siempre que se los articule con los procedimientos científicos.

Brigitte Peterfalvi
Equipo de didáctica de las ciencias experimentales, INRP.

Notas

1. Para Désautels, "los elementos constitutivos del marco epistémico comprenden postulados epistemológicos y/o metafísicos, las reglas metodológicas que se aplican, más o menos conscientemente, para construir explicaciones respecto de los fenómenos llamados naturales" (Désautels, 1989).
2. "Pensar es equivocarse y corregir los errores. Además, el error sólo es reconocible después: es el pasado del pensamiento cuando éste se vuelve para juzgarse a sí mismo" (Fabre, 1995, p. 31); "De ahí adquiere todo su sentido un psicoanálisis del espíritu científico: el pasado intelectual, como el pasado afectivo debe reconocerse como tal, como un pasado... Lo viejo debe concebirse en función de lo nuevo..." (Bachelard, 1938, citado por Fabre).
3. Esta red, construida de manera interpretativa a partir de formulaciones hechas por los alumnos sobre la nutrición vegetal, no pretende ser exhaustiva. Aquí no figuran ciertos modos de pensamiento que pueden intervenir en formulaciones referentes a esta esfera (por ejemplo, las que corresponden al pensamiento causal). Presentamos el esquema para ilustrar la idea de determinación posible de las representaciones mediante modos de pensamiento transversales, sin pretender con ello agotar el análisis.
4. Las categorías que aparecen más a la izquierda, completamente independientes de los contenidos, se aproximan a las categorías de Piaget. Las de la siguiente columna hacia la derecha, aun siendo muy generales, son más regionales: se aproximan más a las categorías de Bachelard.
5. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas
6. Dirección de B. Peterfalvi (1993), Recherche objectifs-obstacles et situation d'apprentissage, Document 3, INRP (documento interno), pp. 125-132.
7. Esta secuencia de clase fue imaginada y realizada por Claude Simonnot y Elisabeth Plé.

Referencias bibliográficas

Allen, V. L. 1976. *Children as teachers*. Nueva York. Academic Press.

Astolfi, J-.P., Peterfalvi, B. y Vérin, A. 1991. *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. París, INRP. 1991.

Astolfi, J.-P. y Peterfalvi, B. 1993. Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Modèles pédagogiques 1, Aster*, nº 16.

Bachelard, G. 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. París, Vrin.

Barnier, G. 1994. *L'effet tuteur dans une tâche spatiale chez des enfants d'âge scolaire*. Tesis de doctorado. Universidad de Provence.
Blaye, A. 1989. Interactions sociales et constructions cognitives: présentation critique de la thèse du conflit socio-cognitif, en N. Bednarz y C. Garnier (comps.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Ottawa. CIRADE, Agence d'Arc.
Cauzinille, E. y Melot, A.-M. 1993. Métacognition et acquisition de connaissances. *Cahiers de Beaulieu* nº 16.
Désautels, J. 1989. Developpement conceptuel et obstacle épistémologique, en N. Bednarz, y C. Garnier, (comps.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Ottawa. CIRADE, Agence d'Arc.
Fillon, P. 1991. Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves, *L'élève épistémologue, Aster* nº- 12.
Flavell, J.H. 1985. Développement métacognitif, en J. Bideau y M. Richelle (comps.), *Psychologie développmentale: problèmes et réalité*. Bruselas, Mardaga.
Fabre, M. 1995. *Bachelard éducateur*. París, PUF.
Goix, M. 1996. *Les concepts de croissance et de développement en biologie. Obstacles et répresentations ches des élèves de collège. Propositions de situations didactiques*. Tesis de doctorado, Universidad París VII.
Johsua, S., "Les condicions d'évolution des conceptions d'élèves", en Bednarz, N. y Garnier, C. (comps.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, CIRADE, Agence d'Arc, Otawa, 1989.
Larochelle, M. y Désautels, J. 1992. *Autour de l'idée de science*. Universidad de Laval y Bruselas, De Boeck.
Martinand, J.-L. 1986. *Connaître et transformer la matière*. Berna, Peter Lang.
Martinand, J.-L. 1983. La référence et le possible dans les activités scolaires. *Actes de l'atelier international de didactique de la physique*. La Londe des Maures.
Melot, A.-M. y N'Guyen Xuan, A. 1981. La connaissance des phénomènes psychologiques, en Oleron et al., *Savoirs et savoir-faire psychologiques chez l'enfant*. Bruselas, Mardaga.
Monchamp, A. 1993. capítulo Biologie, en J. Colomb, (dir.), *Les enseignements en troisième et seconde: ruptures et continuité*. París, INRP.
Monteil, J.-M. 1989. *Éduquer et former, perspectives psycho-sociales*. Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
Noirfalise, R. 1990. Arguments pour un modèle du fonctionnement cognitif en termes de connaissances, métaconnaissances et traitement de l'expérience. *Bulletin IREM de Clermont Ferrand*, nº 41.
Nussbaum, J. y Novick, S. 1982. Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11.

Orange, C. 1993. Le concept d'obstacle en didactique des sciences: nécessité d'une approche plurielle, en *Le problème et l'obstacle en didactique des sciences*. Documentos del CERSE, Universidad de Caen, nº 60.

Peterfalvi, B. y Adamczewski, G. 1985. *Les possibilités d'entraide pédagogique entre élèves*. París, INRP.

Peterfalvi, B. 1991. Apprentissage de méthodes par la réflexion distanciée, en *L'élève épistémologue*, *Aster*, nº 12, París, INRP.

Peterfalvi, B. 1995. Activités réflexives d'élèves en classe de sciences, en A. Giordan, J.-L. Martinand y D. Raichvarg (comps.), *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques? Actes JIES*, XVII. Chamonix.

Piaget, J. 1972. Inconscient affectif et inconscient cognitif. *Problèmes de psychologie génétique*, París, Denoël.

Piaget, J. 1974. *La prise de conscience*. París, PUF.

Piaget, J. 1974. *Réussir et comprendre*. París, PUF.

Plé, E. 1995. Attaquer un obstacle par ses différentes faces à l'école élémentaire: l'air n'est pas de la matière, en A. Giordan, J.-L. Martinand y D. Raichvarg (comps.), *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques? Actes JIES*, XVII. Chamonix.

Posner, G. J. et al. 1982. Accomodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66.

Rumelhard, G. 1996. Représentation et travail résistant. Obstacles et condicions de possibilité pour l'assimilation du savoir en biologie et géologie. *Biologie Géologie*, Boletín de APBG, nº 4.

Vérin, A. 1993. Didactique des sciences et apprentissages méthodologiques. *Cahiers de Beaulieu*, nº 16.

Vérin, A. 1995. Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences. *Repères*, nº 12.

White, R. T. y Gunstone, R. F. 1989. Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11 (número especial): 577, 586.

5

La perturbación conceptual: una herramienta para superar los obstáculos

Marie-Louise Zimmermann-Asta

La noción de "perturbación conceptual" se basa en la idea de que quienes aprenden tengan en cuenta las "concepciones-obstáculos". Utilizada en una enseñanza que apunta a que sea el alumno quien elabore el saber, le permite a este construir concepciones cada vez más científicas. Dieciséis años de experimentación en el terreno educativo y en condiciones reales permiten poner a prueba sus efectos y precisar cuáles son las condiciones convenientes para aplicarla.

1. El concepto

El concepto de "perturbación conceptual" (Zimmermann-Asta, 1990) abarca todos los elementos perturbadores elegidos por el docente para desestabilizar los modelos explicativos del alumno. Antes que tratar de definir este nuevo concepto, lo cual sería prácticamente imposible, preferimos presentar algunas ideas que permiten aclararlo mediante la comparación con otras nociones didácticas.

Pensada como medio para actuar sobre las concepciones, la "perturbación conceptual", se apoya, entre otras cosas, en el conocimiento de las "concepciones-obstáculos" definidas como

concepciones iniciales que no evolucionan si no se las somete a tratamientos particulares (Zimmermann-Asta, 1990). Estas "concepciones-obstáculos" no se consideran como "obstáculos que es necesario eliminar, sino como ´puentes´ que permiten llegar a construir concepciones más evolucionadas" (Zimmermann-Asta, 1996).

La "perturbación conceptual" se emplea en el marco de un modelo de aprendizaje y no de un modelo de enseñanza, en una perspectiva que entiende el proceso de aprendizaje en términos constructivistas. Caracterizada por el hecho de que se apoya en elementos opuestos al pensamiento de los alumnos, la perturbación conceptual fue concebida en el marco de un enfoque que da prioridad a la construcción del saber por parte del aprendiz, al *aprendizaje mediante la autonomía* y que recibió la influencia del constructivismo didáctico a través de los siguientes axiomas: *el aprendiz es el artífice de sus propios conocimientos; el conocimiento se construye con el apoyo de los conocimientos previos* y *el conocimiento se construye a partir de perturbaciones y gracias a los conflictos.*

un concepto nuevo

Mientras el "conflicto conceptual" (Giordan y De Vecchi, 1987) se centra en el conflicto que experimenta el alumno ante la realidad experimental o ante las concepciones de sus pares, la "perturbación conceptual" es un procedimiento didáctico, elegido y explotado por el docente que concibe su enseñanza en función de las turbulencias que quiere provocar. El conflicto es esencial para producir cambios conceptuales, pero debe ser dirigido por el docente de modo tal que los alumnos mismos sean quienes operen ese cambio.

conflictos

El "conflicto sociocognitivo" (Perret-Clermont, 1986) pone más particularmente el acento en la oposición de las opiniones expresadas en relaciones sociales relativamente codificadas. La perturbación conceptual lo incluye, pero como un medio más entre otros.

Es una noción que se basa fundamentalmente en el asombro —y aquí nos aproximamos a Legrand (1972) cuando dice que "la cultura del asombro es la única que podrá mantener y enriquecer en el niño una apertura intelectual indispensable para todo progreso ulterior"— pero este no constituye el único recurso para crear turbulencias.

Esta estrategia no se centra en el "desarrollo conceptual" (Désautels, 1989), sino en las condiciones que lo favorecen.

"La idea de confrontación aparece como uno de los elementos esenciales en el enfoque de los mecanismos del desarrollo conceptual"(Giordan y De Vecchi, 1987). En contradicción con las concepciones del aprendiz, la perturbación conceptual suscita un procedimiento personal de cambio. Crea, pues, un "desequilibrio cultural" que facilita una evolución y parece ser un elemento que favorece la conceptualización.

Esta práctica se utiliza en el marco de cierta "estrategia del trastorno epistemológico" (Désautels y Larochelle, 1993) que se apoya en los siguientes elementos: el saber científico se construye; el saber científico se negocia. En el marco donde yo enseño, los aprendices son plenamente conscientes de que lo que se les propone no son verdaderas situaciones de investigación, saben que las soluciones ya fueron encontradas y que ellos se hallan en una situación de redescubrimiento. Con todo, en la clase el saber se discute y se negocia entre pares. En ningún caso el docente divulga o impone la respuesta. La clase desempeña, pues, el rol de una "microsociedad científica" que elabora un "microconsenso científico". Este trabajo permite desmitificar la ciencia.

nueva estrategia

Un prueba empírica contradictoria no basta para hacer que el alumno abandone sus concepciones y adquiera otras más científicas. A menudo es necesario provocar diversas perturbaciones para producir un cambio conceptual. Tales perturbaciones completan las estrategias didácticas ya conocidas y aumentan así la variedad de las tácticas educativas.

Como lo destacan Maria Arca y Silvia Caravita (1993), "aprender a evaluar procesos de aprendizaje, diferentes para cada niño, es una tarea particularmente difícil y no corresponde a los objetivos de "estandarización cultural" que se ha fijado la escuela". La perturbación conceptual sólo puede entonces utilizarse en un contexto en el que se ha establecido otro contrato didáctico diferente, en el que se considera la diversidad individual y en el que la evaluación no corresponde, como ha sucedido tradicionalmente, a los conocimientos adquiridos, sino que toma en cuenta los procesos de aprendizaje (evaluación de la calidad de la gestión, de la participación en la tarea común, etcétera).

2. El enfoque pedagógico "APA"

2.1. ¿Qué es el "aprendizaje de las ciencias por la autonomía"?

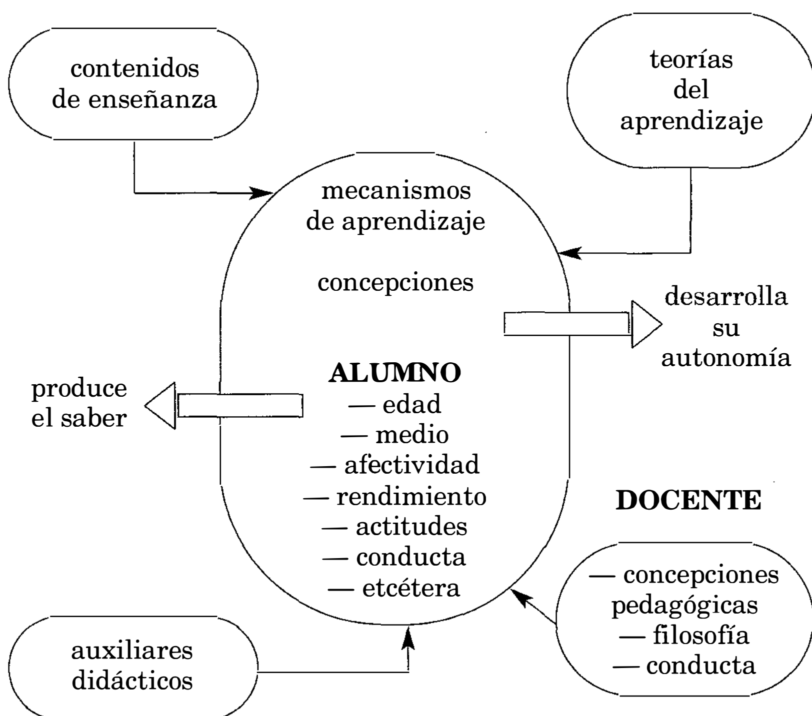
El enfoque pedagógico llamado *aprendizaje de las ciencias por la autonomía*(APA),[1] creado por mí y que he experimentado durante dieciséis años en la Ecole de Culture Général Jean Piaget de Ginebra[2] se inscribe directamente en la línea de los trabajos de didáctica y epistemología de las ciencias y, particularmente, en el marco de los trabajos del laboratorio de didáctica y de epistemología de las ciencias (LDES).

Centrado en la persona que aprende, este método de aprendizaje apunta a permitir que el alumno se apropie de conceptos y procedimientos científicos, y a evitar que "plante" las nuevas informaciones en sus estructuras de pensamiento o que repita fórmulas vacías, palabras huecas, cuyo sentido y cuya utilización no comprende.

El aprendizaje de las ciencias por la autonomía es lo que podría llamarse una "práctica pedagógica estructurada". Aplicada en el terreno, esta práctica pedagógica se precisó, se modificó, se extendió a más alumnos, a más docentes, así como a otros niveles de enseñanza, siempre limitada al terreno de la física, porque, por el momento, todos los auxiliares pedagógicos fueron concebidos para ese campo de acción. Además es una práctica estructurada, Y, como se nutrió de diversas teorías de la construcción del saber, de prácticas pedagógicas, de investigaciones nuevas y de trabajos realizados con los docentes de la Escuela Jean Piaget y el equipo de investigación del LDES, podemos también decir que se trata de un modelo pedagógico surgido de una práctica teorizada.

APA, una práctica pedagógica estructurada

En la Escuela Jean Piaget, por decisión del cuerpo de profesores del área, esta práctica pedagógica se ha generalizado en toda la enseñanza de las ciencias experimentales (física y química) de primer año (edad promedio de los alumnos: 16 años). Análisis realizados en poblaciones de cincuenta alumnos cada una demostraron que los conocimientos adquiridos por los alumnos mediante el método pedagógico APA eran mejores que los alcanzados por otros que siguieron una enseñanza tradicional.



Esquema extraído de *Sobre los caminos del aprender*
(Zimmermann-Asta, 1996)

Este modelo exige que los docentes cambien sus concepciones pedagógicas; no puede imponerse. En segundo y tercer año (física) de esta escuela coexisten dos prácticas pedagógicas: la enseñanza tradicional y el APA. Los temas desarrollados y los exámenes son comunes a ambas.

Algunos profesores de física de un ciclo de orientación ginebrino[3] emplean esta pedagogía.

2.2. Características generales

El alumno se considera no sólo desde el punto de vista de sus características propias, sino también en el nivel de sus concepciones y de sus mecanismos de

apropiación del saber

aprendizaje. El desarrollo de la autonomía se entiende como un elemento fundamental en sí mismo y como recurso para obtener éxito en estudios ulteriores.

El trabajo del docente ya no consiste en transmitir conocimientos al alumno, sino en ofrecerle las condiciones para que pueda apropiarse del saber científico. El profesor se sitúa en un segundo plano y deja el centro de la escena al aprendiz. Su rol no es desdeñable; sólo es diferente. Es un mediador entre los conocimientos y el alumno y esta mediación se efectúa en un contexto institucional que no se oculta, aun cuando no aparezca directamente en el esquema que presentamos a continuación.

El docente busca apoyo en los contenidos de enseñanza, en las teorías del aprendizaje, en su experiencia pedagógica a fin de construir las ayudas didácticas apropiadas. Estas se conciben con el objetivo de incitar al alumno a investigar, a reflexionar.

2.3. Las diferentes fases

Esta pedagogía se desarrolla en tres fases específicas: fase de investigación, fase de elaboración en común, fase de reinversión de los conocimientos. A menudo estas etapas se presentan netamente separadas, pero también pueden influir una en la otra.

- *Fase de investigación*

Esta es una fase de búsqueda en la cual el docente fija los temas y el alumno da libre curso a su creatividad para formular hipótesis y respuestas.

creatividad

Trabajando generalmente en parejas, los alumnos consultan documentos y libros y tienen libre acceso al material necesario para realizar sus experiencias. Consciente de la diversidad de los procedimientos posibles, el docente los deja recorrer su propio camino, aunque los alumnos deben examinar sus métodos, precisarlos y hasta justificarlos, con lo cual realizan una reflexión sobre la actividad que están desarrollando. Al establecer un verdadero debate, los dos miembros del equipo comparan sus concepciones.

Así el aprendiz va cobrando conciencia, poco a poco, de sus concepciones científicas y de los procedimientos que aplica

indagación de las concepciones y de los procedimientos

para elaborar una respuesta. A fin de lograr esto, es esencial el cuestionamiento[4] que realiza el docente. Este debe suscitar una evocación de la senda experimental recorrida que funciona como un medio de comprender, de aclarar y de recordar las estrategias.

En esta fase de investigación, la perturbación conceptual ayuda a superar los bloqueos. Cuando el aprendiz se encuentra en una situación conflictiva ante sus propias concepciones, se ve obligado a buscar elementos más pertinentes. Esta confrontación intraindividual a menudo resulta dinamizante y da impulso a la indagación.

Los aspectos ocultos de esta fase exigen que el docente tenga un conocimiento de las concepciones iniciales generales de los alumnos sobre el tema estudiado, pero lo más importante es su conocimiento de las concepciones-obstáculos de sus alumnos. Para lograr que tales concepciones evolucionen, les presenta elementos imprevistos: experiencias sorprendentes, documentos contradictorios, situaciones problemáticas. Estas son herramientas que permiten quebrantar las concepciones espontáneas. Como señala Giordan (1993), hay que trabajar con las concepciones, contra ellas y apoyándose en ellas. Por consiguiente, es menester que el docente haya elaborado los auxiliares didácticos con sumo cuidado.

- *Fase de elaboración en común*

En esta fase, esencial, el alumno relaciona los diferentes elementos cognitivos apoyándose en una evocación de experiencias e investigaciones efectuadas a lo largo de la fase anterior.

Cada uno desarrolla su dialéctica a fin de convencer a los demás de la validez de su razonamiento. El error queda despenalizado por cuanto sirve para revelar las concepciones y las concepciones-obstáculos de los aprendices. Todos los alumnos de la clase comparan y critican las conclusiones a las que llega cada grupo de trabajo. Para que esas confrontaciones interindividuales se desarrollen en buenas condiciones es necesario establecer las reglas de comunicación y que estas sean respetadas. Nociones previas remanentes, conceptos intermedios y conocimientos científicos se cotejan, se juzgan y se discuten entre todos.

condición del error

Los alumnos elaboran una respuesta común, válida para una clase dada, en un momento dado. Esta no debe ser necesariamente la solución científica, sino que se caracteriza por los niveles de formulación y de resolución que pudieron alcanzar los alumnos.

El docente que dirige la discusión tiene la misión de no intervenir como experto. Durante todo el debate, provoca a los alumnos a fin de incitarlos a pulir sus argumentaciones, pero en ningún caso lanza una respuesta. Emplea las perturbaciones conceptuales como un instrumento para que los aprendices avancen por el camino de la conceptualización. Trata de que la comunicación sea lo más fluida posible. Dirigir un intercambio de esta índole no es tarea fácil, puesto que sin abandonar el segundo plano, el docente debe vigilar que se conserve el equilibrio entre la discusión anárquica y el monólogo que seguramente tratarán de imponer algunos alumnos. El objetivo es obtener un "microconsenso científico", por lo tanto, lograr una respuesta negociada y aceptada por todos los participantes.

confrontaciones

La elaboración de un saber no es ni una acumulación, ni un amontonamiento de ladrillos de conocimientos. Es una modificación, una reestructuración continua que va haciéndose gradualmente más compleja. El debate científico favorece esta estructuración de los conocimientos, al inscribirla en el espacio y en el tiempo.

Para favorecer la memorización de los elementos esenciales, en el transcurso de la discusión se elabora en común una síntesis estructurante. Para lograrlo se utilizan las técnicas del "esquema heurístico" (Buzan, 1984), basadas en una memoria dinámica, en una conducta inventiva y que trazan el contorno de un proceso intelectual y su estructuración. Las palabras clave y/o las imágenes se disponen alrededor de un punto central y se vinculan entre sí. El centro del esquema es el tema estudiado (por ejemplo, las fuerzas, el cambio de estado, etc.). Se indica claramente la importancia relativa de cada idea. Los vínculos entre conceptos son perceptibles. El esquema se transcribe luego en un cuadro (en general, es el docente quien se ocupa de hacerlo). Cada alumno puede realizar su esquema, que posee así su originalidad propia, pero durante la síntesis estructurante hay una elaboración común.

síntesis estructurante

Los elementos "errados", ¿deben conservarse? Esto supondría la existencia de concepciones que resisten a todos los métodos aplicados. Si se produjera esta situación, podrían anotarse, como preguntas en suspenso, los problemas no resueltos, pero es poco probable que esto ocurra puesto que los documentos, las perturbaciones y los auxiliares didácticos fueron concebidos para desestructurar las concepciones inadecuadas.

- *Fase de reinversión*

La reinversión de los conocimientos, de las estrategias de resolución de problemas, de los procedimientos de experimentación, puede concretarse de diferentes maneras en el transcurso de nuevas experiencias o investigaciones o en la forma particular de tests: tests de conocimientos, tests de reflexión y tests prácticos.

Los primeros apelan particularmente a la memorización y tienen el objeto de verificar los conocimientos realmente adquiridos por los alumnos. Son tests obligatorios, completamente clásicos, pero que nunca se anuncian con antelación a los alumnos a fin de evitar las interferencias de la memoria inmediata.

los tests

El segundo tipo de tests gira alrededor de la comprensión, la reflexión y la imaginación. Hace referencia a las situaciones creadas en clase, a los conocimientos adquiridos, pero exigen un reajuste de tales conocimientos en ocasión de una pregunta original que habrá que descodificar o a la cual habrá que aportar una respuesta.

En cuanto al último tipo de tests, se trata de pruebas que exigen una aplicación de lo aprendido: una utilización concreta, una memorización del proceso, una reflexión, una movilización de la imaginación, puesto que las situaciones que se proponen tienen siempre un aspecto inédito. Sin ningún documento de referencia, cada alumno reproduce una parte de una experiencia ya realizada, pero además debe resolver un problema nuevo que se le presenta. De ese modo se ponen a prueba sus capacidades de imaginación y de reflexión, su ingenio. Con la ayuda de unas guías de observación, el profesor sigue la evolución del alumno y verifica su capacidad de aplicar el saber, su autonomía, su ingeniosidad, sus capacida-

la evaluación

des de reflexión, su rapidez, etc. La evaluación se realiza teniendo en cuenta los procedimientos, la argumentación, los conocimientos adquiridos y los progresos alcanzados.

2.4. La perturbación conceptual

No nos engañemos. La perturbación conceptual permite una evolución de las concepciones, pero no es una receta pedagógica. Interviene en cada una de las tres etapas del método APA, pero donde más se la aplica es en la segunda fase, la de la elaboración en común. Se practica únicamente con grupos reducidos (de 12 a 14 alumnos), de manera continua y no solamente para asombrar a los alumnos.

La práctica de la perturbación conceptual demanda una formación previa. En efecto, si el docente no está habituado a tomar en consideración sus diversos elementos, tampoco estará preparado para asumir los conflictos que provoca.

Exige que el docente conozca las concepciones de los aprendices sobre los temas estudiados. Para lograrlo puede hacer encuestas o estudiar las publicaciones de los trabajos de investigación. Así podrá identificar las concepciones y las concepciones-obstáculos de sus alumnos a fin de concebir cómo desarrollar su curso, determinar las perturbaciones conceptuales necesarias y utilizarlas en el momento que juzgue adecuado. Sus decisiones estarán justificadas por la observación de los razonamientos de los aprendices. De modo que deberá tener a su disposición en el aula los materiales y documentos necesarios.

La perturbación conceptual necesita tiempo: tiempo para adaptarse a la particularidad de los alumnos, al ritmo de cada uno. El docente debe estar atento para evitar que los más rápidos se aburran y que los más lentos se sientan frustrados en su trabajo y lograr que cada uno sea lo suficientemente dinámico.

el tiempo necesario...

Este método exige una gestión particular de la clase: la no injerencia en los procedimientos de investigación ni en las argumentaciones; consignas estrictas (elaboradas por el curso) referentes a la seguridad y la actitud en clase.

3. Ejemplos de perturbaciones conceptuales

Seguidamente presentamos algunas preguntas, experiencias, documentos perturbadores y sucesiones de perturbaciones. En sí mismos, estos elementos no bastan para crear la perturbación, que depende del aprovechamiento que haga de ellos el enseñante.

3.1. Las preguntas perturbadoras

- ***Pregunta nº 1***

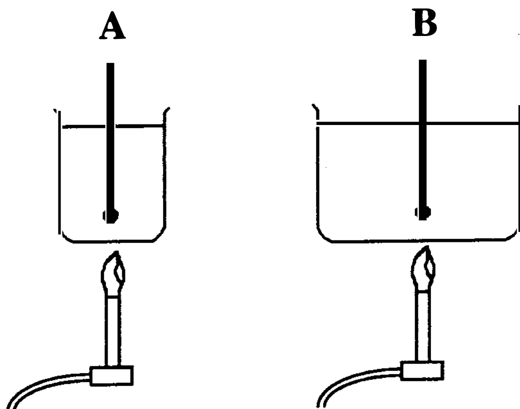
¿Qué diferencia hay entre 90 km/h y 25 m/s?

¿qué perturba?

La formulación de la pregunta puede ser perturbadora, porque insiste sobre la diferencia, cuando esos dos valores son idénticos, pero expresados en unidades diferentes.

- ***Pregunta nº 2***

En los dos recipientes representados bajo <u>el agua hierve</u>



¿Qué temperatura indicará el termómetro A?

– *la temperatura de A será superior a la indicada por B*

– *la temperatura de A será la misma indicada por B*
– *la temperatura de A será inferior a la indicada por B*

Explique por qué eligió esa respuesta.

En esta situación, los elementos perturbadores son la pregunta planteada y la situación propuesta. La formulación de la pregunta es perturbadora. Se pregunta *¿qué temperatura indicará el termómetro A?* y en las respuestas posibles no se propone ningún valor. En realidad lo que hay que hacer es una comparación. Esto induce a dar respuestas del tipo *inferior o superior*, cuando la respuesta es ¡la misma!

El hecho de que el recipiente A sea más pequeño que el recipiente B a menudo conduce a los aprendices a una respuesta errada. Los alumnos se atienen al hecho de que el agua hierve *más rápido* en el recipiente A, porque este contiene una cantidad menor de materia. La física ingenua de los alumnos con frecuencia está vinculada con los procesos, mientras que el profesor procura imponer una física de los estados y más particularmente de los estados estables. El hecho de subrayar el agua hierve no basta para llamar la atención de todos los alumnos sobre esa situación particular.

la física ingenua de los alumnos...

¿Y si se dibujaran burbujas para indicar la ebullición del agua? Algunos las descodifican como burbujas de ¡gas carbónico!

- ***Pregunta nº 3***

En una habitación usted toca el picaporte de la puerta, una alfombra y un periódico.

a - ¿Qué cuerpo le parece más caliente?
b - ¿Qué cuerpo le parece más frío?
c - Clasifique los cuerpos desde el más caliente al más frío.
d - La clasificación por temperatura, ¿es la misma?

Si la respuesta es sí: ¿por qué?
Si la respuesta es no: ¿Cómo los clasifica?

En un primer momento se le propone al aprendiz hacer una anticipación en función de sus concepciones, luego que realice lo que se pide y, por último, que compare los resultados experimentales obtenidos con sus concepciones sobre la temperatura y el calor.

Ahora bien, el alumno no siempre separa claramente lo que corresponde al nivel de las sensaciones experimentadas al tocar algo y lo que corresponde a aquello que puede medirse con un termómetro. En este caso existe el equilibrio térmico, por lo tanto las temperaturas son idénticas, aunque las sensaciones sean diferentes. La sensación está vinculada con la conductibilidad térmica. Estos conceptos de equilibrio y conductibilidad no se adquieren fácilmente.

El *ítem d* de esta pregunta aparece formulado de manera perturbadora. Los alumnos deberán descodificar la pregunta: *la clasificación de los cuerpos según su temperatura, ¿es lo mismo que la clasificación de acuerdo con las sensaciones?* Según las respuestas que den, propondrán un nuevo orden. Pero en realidad la temperatura de todos los objetos es idéntica, puesto que hay equilibrio térmico.

3.2. Las experiencias perturbadoras

experiencias que contradicen las concepciones

Se las elige en función del aspecto contradictorio que presentan en relación con las concepciones de los alumnos. A título de ejemplo, veamos una experiencia perturbadora correspondiente al cambio de estado.

Con razón, los alumnos están habituados a considerar que los metales funden a altas temperaturas. Con el objeto de ampliar su campo de conocimiento, el docente propone realizar la fusión de diferentes sustancias. Antes de experimentar, los aprendices hacen pronósticos. A fin de perturbar las concepciones vinculadas con la vida cotidiana, el profesor elige además una aleación (metal de Wood) cuya temperatura de fusión es inferior a los 100°C.

Algunos alumnos están hasta tal punto convencidos de que la temperatura debe ser elevada que no ven que el metal de Wood se está fundiendo. En ese caso, deben recomenzar la ex-

periencia. A menudo es necesario insistir para que los alumnos continúen elevando la temperatura a fin de que la "meseta", asociada al hecho de que, durante el cambio de estado, la temperatura es constante, quede claramente establecida.

predominio de las concepciones

Las *contraexperiencias* se emplean en un momento de la discusión con el objeto de poner en tela de juicio o bien la experiencia previa del alumno, o bien la interpretación que le atribuye. Por ejemplo: a quienes afirman que la temperatura de ebullición del agua no cambiará nunca (lo que puede considerarse como una concepción adquirida en virtud de la experiencia escolar científica), el docente les propone hacer hervir el agua a la temperatura ambiente (en el vacío). Aquí lo interesante es hacerles cobrar conciencia de que sus concepciones son ciertas solamente en esferas limitadas. Sin embargo, un hecho experimental no basta para superar una contradicción. En efecto, ciertos alumnos, después de haber visto hervir el agua y haber leído en el termómetro la temperatura (20ºC) no se animan a levantar el recipiente ¡por temor a quemarse!

los límites de las concepciones

Para que los alumnos se apropien realmente de los diversos elementos y los comparen con una afirmación anterior, la nueva experiencia debe discutirse públicamente en clase. Durante esta discusión entre los alumnos, el profesor puede proponer nuevas contraexperiencias, que encaminen al aprendiz hacia la construcción de los conceptos. A veces, esta estrategia es suficiente para que los alumnos superen sus concepciones-obstáculos. En caso contrario, propone otras experiencias, presenta otros documentos, a fin de quebrantar las concepciones erradas.

3.3. Los documentos perturbadores

Veamos dos ejemplos de documentos perturbadores.



¿Qué responde la profesora Coquelicot a su amiga, la señora Rose?
(–Querida, el azúcar no se derrite, se disuelve.)

En la vida cotidiana, los alumnos hablan como la señora Rose y confunden "disolver" con "derretir". Por lo tanto es necesario provocar una perturbación en el nivel de las concepciones familiares. En clase, se realizan experiencias y luego se desarrolla un debate que permite precisar esas nociones diferentes. Las respuestas dadas a la pregunta que aparece en el dibujo anterior, propuesta en un test, permiten verificar si las concepciones evolucionaron hacia una perspectiva más científica.

confusión vinculada con el lenguaje corriente

Otra opción es someter a la crítica un anuncio publicitario. Aquí el objetivo es doble: por un lado, los aprendices movi-

desarrollar el espíritu crítico



lizan sus elementos de análisis, su argumentación, y por otro, adquieren poco a poco el hábito de no considerar como verdad todo lo que está escrito.

concepciones publicitarias

Esta publicidad emplea el vocablo "pura" porque es más evocador que la palabra "potable". Aquí casi podría hablarse de "concepciones publicitarias" cuyo objetivo es alabar un producto. Después de una crítica personal, un debate en el seno de la clase destaca las diversas posiciones, las argumentaciones de cada uno, y culmina en una respuesta considerada aceptable por todos. Debe precisarse el contexto de utilización del vocablo.

3.4 La sucesión de perturbaciones

elaboración de un concepto

El empleo progresivo de experiencias o de documentos perturbadores hace posible verificar el nivel de elaboración de los conceptos.

Consideremos el concepto de fuerza de gravedad.

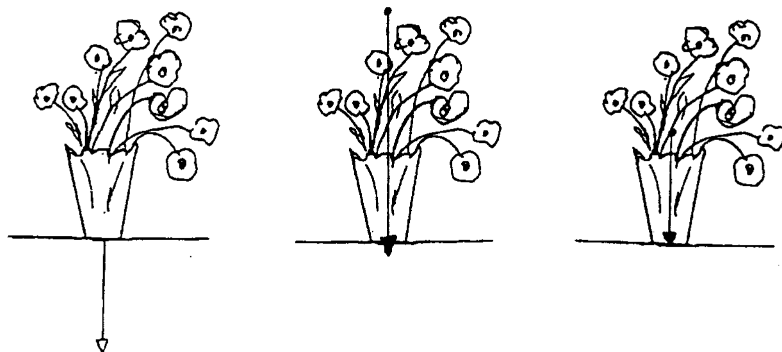
Estos alumnos de 16 años aprendieron que la fuerza de gravedad se representa mediante una flecha que indica una dirección, un sentido y una cantidad y que se aplica al centro de gravedad de un cuerpo. Se supone que han comprendido que esta fuerza, representada por un vector, actúa verticalmente.

En un primer momento se les pide que representen la fuerza de gravedad del florero que aparece en el dibujo:



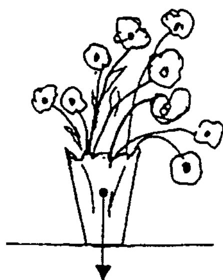
Los tres dibujos siguientes, hechos por los alumnos durante una etapa de reinversión, muestran que, para algunos, esta fuerza debe obligatoriamente partir de la mesa o llegar a ella. De modo que para ellos carecen de importancia el lugar del

centro de gravedad y la escala empleada para representar la fuerza.

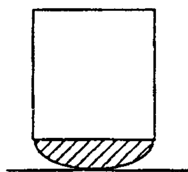


Después de una elaboración común, el docente se asegura de que los alumnos sepan representar la fuerza de gravedad del cuerpo, es decir que la representen indicando su dirección, su sentido, su tamaño (precisando la escala) y su punto de aplicación.

escala: 1 cm ↔ 1[N]

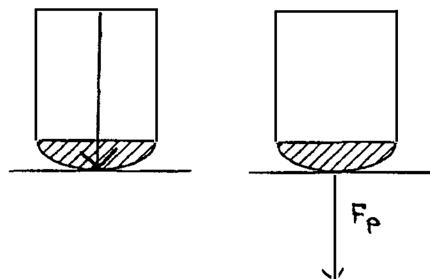


Entonces introduce una nueva perturbación, al pedirles que representen la fuerza de gravedad del cuerpo lastrado que aparece seguidamente:

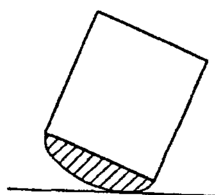


Este cuerpo no es homogéneo. Su centro de gravedad está, pues, desplazado hacia abajo. He aquí una situación perturba-

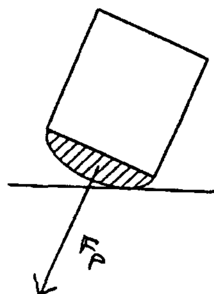
dora para ciertos alumnos que ubicarán el centro de gravedad como se muestra en el siguiente dibujo:



Otra perturbación consiste en inclinar el cuerpo.



No es raro encontrar una representación de la fuerza de gravedad con dirección oblicua.



El conjunto de estas situaciones perturbadoras obliga a reflexionar profundamente sobre lo que significan la dirección, el sentido (frecuentemente confundido con la dirección), la

verticalidad, etc. Poco a poco, gracias al conflicto creado por las situaciones propuestas, gracias a los intercambios y a las confrontaciones que surgen durante la elaboración común, los alumnos construyen ese concepto de fuerza de gravedad.

Pero, para algunos es menester proponer otras situaciones y, a veces, se hace necesario mantener una entrevista individual con el alumno para advertir cuál es el obstáculo que está impidiendo su comprensión. En efecto, representar la dirección vertical de la fuerza de gravedad es un conocimiento que se adquiere en el colegio, sin embargo el mismo alumno puede "saber" que esta dirección es vertical y ¡representarla oblicua!

4. Utilización de las perturbaciones

La misma pregunta puede resultar perturbadora o no. Esto depende del contexto, de los alumnos y del docente. Este último propone situaciones perturbadoras, pero también puede hallarse ante perturbaciones inesperadas y, en ese caso, deberá intentar descubrir qué está constituyendo un problema. Las actividades que ofrezca, su manera de instrumentarlas y de dirigirlas en la perspectiva de una búsqueda de un saber común aceptable para la clase serán el reflejo de su flexibilidad. De una clase a otra, no necesariamente se realiza el mismo tipo de experiencia.

Los elementos perturbadores no se eligen al azar. El docente se basa en el conocimiento que tiene de sus alumnos, de las concepciones-obstáculos y del programa: el elemento inquietante debe serlo en tal medida que provoque la busca de una coherencia, pero no excesivamente perturbador pues desmovilizaría al alumno.

El profesor creará una situación conflictiva formulando una pregunta problemática cuya solución científica, él lo sabe, habrá de chocar con las concepciones de gran número de alumnos. Ante un bloqueo, propondrá documentos perturbadores o contraexperiencias que puedan realizarse de forma inmediata. Ello supone que el material esté continuamente disponible en clase y que el docente sea sumamente flexible porque este método debe ajustarse en función de cada alumno o grupo de alumnos.

utilización de los conflictos

La intervención de ciertos alumnos, que no tienen la misma opinión o que no dan la misma explicación ante una observación o un problema planteado, crea situaciones conflictivas que el profesor puede explotar. No eliminará el conflicto dando la buena respuesta, como se hace en la pedagogía tradicional, sino que lo utilizará con un objetivo didáctico. Cada alumno deberá ajustar sus argumentos frente a quien piensa diferente y esta discusión aclarará ciertas ideas y ayudará al grupo a evolucionar hacia concepciones más elaboradas.

Para cumplir con su objetivo, las perturbaciones conceptuales necesitan del docente una "intuición pedagógica estructurada". Y hablo de intuición pedagógica porque es necesario tomar globalmente en consideración todos los elementos de la situación momentáneamente creada. Esta intuición está estructurada, porque el empleo y el aprovechamiento de las perturbaciones deben sistematizarse y racionalizarse a fin de que puedan transferirse luego a otros casos. A menudo esta estrategia exige una toma de decisión muy rápida para utilizar un documento o proponer embarcarse en una experiencia particular.

Recurrir a las perturbaciones conceptuales requiere asimismo que el docente se interese en las condiciones necesarias para crearlas y aplicarlas. Por tratarse de estrategias didácticas que hacen evolucionar las concepciones, demandan un manejo no tradicional de la gestión de una clase. Y esta gestión puede ser difícil, porque exige tomar en consideración numerosos elementos. Supone que el docente escuche todos los argumentos de los alumnos a fin de poder provocar, en el momento adecuado, una perturbación.

El modo de interrogar a los alumnos es por completo particular. El docente aplica la escucha activa mientras se concentra en la tarea de hacer surgir las concepciones que utilizan los aprendices. No emite ningún juicio sobre las explicaciones dadas. A veces reformula, se asegura de que el pensamiento no sufra ninguna deformación, pide informaciones complementarias. Su actitud debe convencer al alumno de que lo que dice es digno de interés. Para lograrlo, es necesario que el docente mismo esté convencido de ello.

un modo particular de preguntar

Conclusión

La expresión perturbación conceptual es de algún modo imprecisa. Experiencias perturbadoras, contraexperiencias, documentos inquietantes, situaciones conflictivas, informaciones contradictorias: todos ellos son elementos perturbadores.

La perturbación conceptual se concibe como una estrategia que permite trabajar sobre las concepciones de los alumnos. El docente debe, pues, preparar su enseñanza y presentar actividades en función de las perturbaciones que quiere instrumentar. Para hacer esta elección tiene que conocer las concepciones-obstáculos y tener una idea bastante clara de las capacidades de los aprendices.

Esta estrategia apela asimismo a una gran rapidez en la toma de decisiones y en la intervención del docente, rapidez que resulta tan importante como un conocimiento profundo de los numerosos medios que puede explotar en procura de su objetivo. Es difícil por cierto prever todas las perturbaciones necesarias, pero el docente debe aceptar dejar de lado los caminos claramente diseñados para lanzarse a recorrer sendas educativas que se apartan de los carriles ya establecidos.

El empleo de la perturbación conceptual depende en gran medida del contexto (lugar, tiempo, personalidades, etc.) y esto exige cierto arte.

Marie-Louise Zimmermann-Asta
LDES/Universidad de Ginebra
École Jean Piaget, Ginebra

Notas

1. Podrán hallarse más detalles en Zimmermann-Asta, M.-L. y Paillard, B., *Apprentissage des sciences par l'autonomie APA*, Ginebra, LDES, Universidad de Ginebra, 1987, y Zimmermann-Asta, M.-L., *Sur les chemins de l'apprendre*, Ginebra, Les Editions du CEFRA, 1996.
2. Ecole Jean Piaget: alumnos en escolaridad posobligatoria (de 16 a 19 años) que realizan tres años de estudios para obtener un diploma de cultura general. En el marco de la escuela de cultura general para adultos (ECGA), la institución recibe a estudiantes

adultos que desean obtener un diploma o conocimiento científicos complementarios del diploma.

3. Ciclo de orientación de Bois Caran en Ginebra. Un ciclo de orientación es una escuela obligatoria del ciclo secundario inferior, que recibe alumnos de entre 12 y 15 años.
4. El seminario "Cómo desarrollar las capacidades de aprendizaje" propone una formación para la utilización de diferentes cuestionamientos pedagógicos. Está dirigido por Marie-Louise Zimmermann-Asta en el marco de la formación continua de la Universidad de Ginebra (informes: LDES-FPSE, Université de Genève, 7 rue de Drize, CH 1227 Carouge (tel: 0041-22 705 96 18; fax: 0041-22 342 89 24).

Referencias bibliográficas

Arca, M. y Caravita, S. 1993. Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes. *Aster* nº 16: 77-101. París, INRP.

Buzan, T. 1986. *Une tête bien faite.* París, Ed. Organisation.

Désautels, J. 1989. Développement conceptuel et obstacle épistémologique. *Actes du Colloque international, obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif.* Ottawa, ARC, pp. 258-267.

Désautels, J. y Larochelle, M. 1993. Constructivistes au travail. Propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de cience. *Aster* nº 17: 13-40. París, INRP.

Giordan, A. y De Vecchi, G. 1987. *Les origines du savoir.* Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

Giordan, A. 1993. Les conceptions des apprenantes, en *La pédagogie: une encyclopédie pour aujourd'hui.* París, ESF, pp. 259-274.

Legrand, L. 1972. *Pour une pédagogie de l'étonnement.* Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

Perret-Clermont, A.-N. 1986. *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berna, Peter Lang.

Zimmermann-Asta, M.-L. 1990. *Concept de chaleur, Contribution à l'étude des conceptions d'éleves et de leurs utilisations dans un processus d'apprentissage*. Tesis nº 172. Ginebra, FPSE, Universidad de Ginebra.

Zimmermann-Asta, M.-L. y Paillard, B. 1987. *Apprentissage des sciences expérimentales par l'autonomie APA*. Ginebra, LDES, Universidad de Ginebra.

Zimmermann-Asta, M.-L. 1996. *Sur les chemins de l'apprendre.* Ginebra, Les Editions du CEFRA.

6

Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes

Jean-Pierre Astolfi
Brigitte Peterfalvi

Las estrategias didácticas que permiten hacer frente a los obstáculos adquieren formas muy diversas. En todo caso, no se limitan únicamente a poner a los alumnos en una situación de contradicción lógica mostrándoles puntos de vista diferentes, ni a elaborar una progresión concebida como un razonamiento "crucial". En este capítulo mostraremos diversos ensayos didácticos realizados en el marco de una investigación relativa a las transformaciones de la materia, en la enseñanza de biología y de química. Después de describir cuatro dispositivos, elegidos por sus contrastes y sus lógicas diferenciales, extraeremos de ellos diferentes dimensiones de análisis y sistematizaremos cierto número de "principios dinámicos" capaces de construir otros tantos recursos positivos para trabajar los obstáculos.

Las investigaciones referentes a los obstáculos epistemológicos que se presentan en la situación didáctica son herederas de las indagaciones acerca de las concepciones alternativas de los alumnos (Bednarz y Garnier, 1989; Giordan, Girault y Clément, 1994), pero en ellas se ha profundizado la perspectiva y se ha procurado alcanzar una mayor eficacia en la superación

de los obstáculos. Tal profundización consiste en dejar de lado una concepción descriptiva y "cartográfica" de las representaciones —que anteriormente fue sin duda necesaria—, basada en el inventario de las respuestas frecuentes de los alumnos relativas a cada concepto científico, para avanzar sobre lo que las explica y las estabiliza en profundidad. De este modo es posible describir los obstáculos como estructuras y modos de pensamiento resistentes que a menudo construyen entre ellos un sistema y que se presentan de diversas maneras en cada objeto de aprendizaje científico. En cuanto a la perspectiva de una mayor eficacia didáctica, esta se vincula con la focalización intencional y explícita de ciertas secuencias sobre obstáculos definidos, focalización que permite instaurar condiciones didácticas óptimas para superarlos, puesto que esa superación es la meta fijada. (Martinand, 1986; Astolfi, 1992).

Los trabajos que hemos desarrollado estos últimos años, referentes a los obstáculos que impiden comprender las transformaciones de la materia y a la forma de trabajarlos en el plano didáctico, nos llevaron a realizar una cantidad de evoluciones y desviaciones que conviene precisar de antemano. En relación con un artículo anterior, (Astolfi y Peterfalvi, 1993), la problemática de nuestro equipo de investigación precisó su posición en dos aspectos importantes. En una primera acepción, mucho más neta, la noción de obstáculo coincide con su sentido bachelardiano inicial y se presenta como una facilidad intelectual invisible para quien está implicado en ella, de modo que contrasta netamente con la idea de una dificultad en el aprendizaje. La dificultad, en efecto, supone que el sujeto experimenta una contradicción, una resistencia, hasta una aporía, lo cual más bien nos remite a las ideas de Piaget sobre la *perturbación* y el *desequilibrio* puesto que lo que se manifiesta es un conflicto cognitivo (Piaget, 1975).

evoluciones y desviaciones

En Bachelard, muy por el contrario, el obstáculo permanece implícito e inconsciente, de manera tal que el sujeto que funciona mentalmente con él, se "sumerge" en tal obstáculo con comodidad, si no ya ¡con deleite! Nada opone resistencia al obstáculo, puesto que, por el contrario, todo lo acompaña. Este aspecto es el que le ha hecho decir a Michel Fabre, con quien reconocemos cierto paralelismo en estos temas, que el inconsciente bachelardiano corresponde al principio de placer. Lejos

del carácter trágico del inconsciente freudiano, este corresponde más bien a lo cómico. El despertar nos encuentra siempre un poco decepcionados y vagamente avergonzados, en tanto que los obstáculos, una vez superados, resultan irrisorios: "la única salida es la ironía: burlarse de uno mismo" (Fabre, 1995). Superar un obstáculo no es dominar una dificultad sino que implica renunciar, pagando un alto precio, a un funcionamiento (demasiado) bien arraigado, con la satisfacción que esto conlleva para el sujeto que sólo pide conservarlo. De ahí procede la idea bachelardiana de ascesis y de catarsis, con la violencia simbólica que esto supone, para lograr un beneficio que al comienzo es por completo incierto.

el obstáculo como deleite

La segunda evolución de la problemática de investigación extrae la consecuencia de este análisis tomando en cuenta la idea de que los obstáculos así entendidos nunca podrán ser abolidos. Por definición, uno sucumbe a ellos, vuelve a ellos, se complace en ellos. El obstáculo es un estribillo. En el mejor de los casos, uno logra confinar el juego a la analogía y al uso metafórico, lo cual nos permite articular nuestra incapacidad para desembarazarnos por completo de él y cumplir con las exigencias reconocidas de un pensamiento científico. El trabajo de un obstáculo no concluye —si es que puede concluir— cuando se lo ha superado, porque nunca se lo ha superado con absoluta seguridad. Lo que razonablemente podemos procurar es desarrollar una actitud alerta en relación con él a fin de reconocer lúcidamente su juego (aun cuando esto ocurra a posteriori), a fin de identificar mejor sus periódicas reapariciones, con una sonrisa... aunque esta sea ¡un poco sardónica! De todo ello resulta que el esquema propuesto en el artículo citado (p. 119) haya tenido que modificarse (Peterfalvi, 1997), particularmente para sustituir la sucesión:

¡reír con un rictus!

Identificación → Fisura → Reconstrucción → Automatización

por una escala del tipo:

Desestabilización → (Re)construcción alternativa → Identificación por parte del aprendiz

la cual no proporciona necesariamente las etapas de una progresión y cuyas variantes ilustraremos luego.

Sobre todo, esto nos llevó a dar prioridad a la investigación de dispositivos didácticos que no se basen únicamente en la refutación racional de las ideas de los alumnos, aun cuando este componente lógico no debe ser dejado de lado. Se trata de medir hasta qué punto la dimensión de razonamiento se inserta en el seno de un conjunto argumentativo, persuasivo y apropiativo mucho más amplio. En efecto, una idea muy frecuente entre los docentes era la de que debería bastar con seleccionar y presentar contraejemplos concluyentes para que los alumnos se rindieran a su evidencia. Si los alumnos no aceptaban esta "capitulación conceptual" pronto se los acusaba de carecer de lógica, cuando en realidad no se trata de deficiencia intelectual, por cuanto la resistencia, pasiva o activa, puede simplemente reflejar la dificultad para reconocer el obstáculo con el cual ellos funcionan mentalmente, y señalar el precio de una "concepción alternativa" de las cosas. En suma, se suele confundir razonar con pensar, comprender con adherir. Por otra parte esta perspectiva aproxima las posiciones epistemológicas contemporáneas que insisten en el carácter ilusorio y retrospectivo de las experiencias llamadas *cruciales* en las ciencias experimentales (Raichvarg, 1997).

más allá de la capitulación conceptual

1. Estrategias didácticas para trabajar los obstáculos

1.1. Los principios que se conservan

Según el marco que acabamos de recordar, los equipos de docentes asociados a esta investigación elaboraron y experimentaron una cantidad de situaciones y dispositivos didácticos cuya divergencia indagamos a priori a fin de explorar todas las posibilidades. Por otra parte, cierto número de esos dispositivos ya fueron objeto de contribuciones específicas. En el presente artículo, adoptaremos un punto de vista diferente, que podríamos denominar "intersecuencial", destinado a analizar de manera fundamentalmente comparativa las lógicas aplicadas y señalar los contrastes que presentan entre sí. Ante

todo recordaremos los principios que guiaron el conjunto de la investigación siendo conscientes de que fueron respetados y traducidos de maneras diversas de acuerdo con los dispositivos que presentamos seguidamente.

un punto de vista intersecuencial

- ***Asegurarse de que el tratamiento del obstáculo sea el tema que guíe la lógica del dispositivo o que al menos ocupe el lugar central.*** Esto puede parecer evidente puesto que es el objetivo anunciado y compartido de la investigación, pero no siempre lo es tanto y ello responde a dos razones. La primera es que con frecuencia se pasa insensiblemente de una "lógica del obstáculo" hacia una lógica diferente simplemente porque se impone la forma escolar dominante y porque está muy arraigado el hábito de combinarlo todo (Astolfi, 1991). La segunda razón es que esta situación puede resultar involuntariamente reforzada por el hecho de que a menudo los obstáculos se constituyen en redes, lo cual complica la focalización didáctica que se pretende hacer sobre ellos y puede relegarlos, en definitiva, a un segundo plano.

el obstáculo en el lugar central

- ***Favorecer la inmersión real de los alumnos en las tareas propuestas***, evitando que funcionen intelectualmente *a minima*, ya sea porque se limitan a una "lógica del hacer" sin que haya una verdadera movilización cognitiva, ya sea porque gana en ellos el "oficio de alumno" con su juego de decodificaciones de las expectativas de los profesores (Perrenoud, 1994). En efecto, si no hay inmersión suficiente de los alumnos, parece difícil apartar los obstáculos que más resisten. Se puede recurrir a "resortes" variados, que luego analizaremos más extensamente, tales como procurar que los alumnos se comprometan personalmente en un "debate científico" (Johsua y Dupin, 1989), crear la seguridad necesaria para que se sientan autorizados a expresar sus propias ideas, demostrar mediante conductas que se toma seriamente la secuencia de ideas que ellos expresen, etc. En otras palabras, se trata de buscar actitudes que favorezcan la devolución, el manejo efectivo de la clase por parte de los alumnos.

- ***Atribuir mayor importancia a la identificación a posteriori del obstáculo por parte de los alumnos***, es decir, tratar de que estos puedan reconocerlo como tal en sus apariciones ulteriores y vigilar sus nuevas manifestaciones (*véase supra*). Este sería un equivalente de la metacognición en el plano del trabajo de los obstáculos (Peterfalvi, 1997).

la identificación a posteriori por parte de los alumnos

- ***Ser sensible a la "factibilidad" didáctica de los dispositivos propuestos en las condiciones didácticas normales.*** Ciertos dispositivos pueden ser intrínsecamente interesantes, pero probablemente sea necesario dedicarles un tiempo y una profundización que impiden retormarlos fuera del marco de la investigación, lo cual puede crear problemas dentro de ese marco.

1.2. Algunos dispositivos en contraste

- *"Alimento gaseoso y pulpa de tomate"*

a) Descripción de la secuencia (clase de Sexto)

Utilizando un mismo esquema didáctico general, fue posible experimentar muchas secuencias con variantes notables (Sauvageot, 1997). Esbozaremos aquí una versión "media" inevitablemente reductora. Todos los estudios muestran que los alumnos de Sexto conciben mayoritariamente la nutrición de la planta en relación con los elementos extraídos del suelo y que perciben el CO_2 como un gas respiratorio desechado y nocivo, de modo que la secuencia procura hacer evolucionar esta concepción.

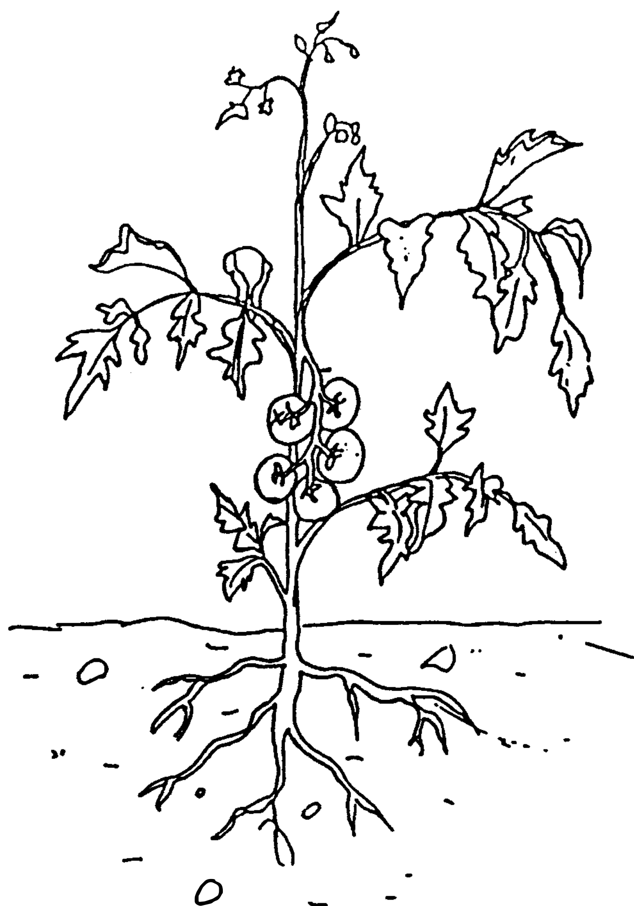
el suelo o el CO_2

Las ideas de los alumnos y su desestabilización

La herramienta que se utiliza para expresar las representaciones es un dibujo sin ningún texto de una planta de tomate con hojas y frutos cuyas raíces penetran en el suelo (como muestra la figura). Este dibujo permite que los alumnos preci-

sen, con la ayuda de flechas y textos, cómo, a su entender, se nutre la planta. Proponen experiencias para respaldar sus ideas, luego se establece el carácter nutritivo del agua y de las sales minerales, precisamente percibidos por los alumnos como los alimentos de la planta. De modo que primero se decide "fortalecer" transitoriamente sus representaciones en sus aspectos pertinentes, pero también con la esperanza de poder desestabilizarlas mejor.

fortalecimiento transitorio



La prueba hecha por el INRA

Se produce entonces una doble desestabilización, primero mediante la evocación de la experiencia de Van Helmont[1] (la masa de la planta aumenta sin que disminuya la de la tierra) y luego mediante el análisis de los datos agronómicos suministrados por el INRA. Se trata de resultados de cultivos de tomates realizados en invernáculos que muestran un aumento del tamaño y el rendimiento, además de una mayor precocidad de los frutos, cuando se eleva el tenor de CO_2 del aire de los invernaderos:

Van Helmont y los cultivos realizados en invernáculos

- el cultivo se realiza en invernáculos
- la experiencia ilustra un "problema verdadero": el de los profesionales que procuran obtener e incorporar en el mercado tomates de buen tamaño fuera de la estación correspondiente, incluso en invierno ;
- los resultados quedan legitimados por el carácter científico de las publicaciones del INRA.

El CO_2 nutritivo

Establecer que existe una correlación entre el aumento del CO_2 en la composición de la atmósfera y el aumento de la masa de los tomates recolectados tiene que ver con las características que los alumnos atribuyen espontáneamente a la materia y desarrolla la probabilidad de que, desde entonces, consideren que el CO_2 puede también ser materia, tanto como los sólidos y los líquidos. El CO_2 puede "rotularse", pues, como nutriente dado que aumenta la materia. Se precisan entonces sus atributos "materiales" (tiene peso, está constituido por partículas...). La "materia tomate" (pulpa, semillas, jugo) puede relacionarse con los elementos agua, sales minerales, CO_2: puede establecerse que una se forma a partir de los otros.

¿materia gaseosa?

b) Los obstáculos en juego

Los obstáculos que participan de esta secuencia forman una red compleja y coherente que se expresaría del modo siguiente:

- la alimentación consiste en una ingestión de materia,
- la materia se concibe como de naturaleza sólida o líquida, pero ciertamente no gaseosa.
- los gases intervienen en los intercambios respiratorios, pero no tienen una función nutritiva,
- el CO_2 es un "desecho" de la respiración, más bien tóxico.

el CO_2 como desecho

En suma, en la difícil comprensión de la nutrición de las plantas verdes participa todo el conjunto del nudo de obstáculos referentes al ser vivo, desarrollado en el artículo citado anteriormente (Astolfi y Peterfalvi, 1993: 108-111).

c) La estrategia didáctica

La estrategia elegida puede caracterizarse como de razonamiento guiado interactivo. En efecto, las etapas de la secuencia se suceden como las de un razonamiento lógico y hay que convencer a los alumnos mediante el carácter decisivo de los argumentos. Cada etapa se prevé con anticipación (razonamiento guiado) y las modalidades de trabajo elegidas dan prioridad a las interacciones (confrontaciones entre alumnos y con los documentos propuestos). Los intercambios, organizados según estructuras y modalidades variadas (grupo-clase, pequeños equipos dedicados a tareas de inventar experiencias o de idear modelizaciones, etc.), se organizan sistemáticamente sobre la base de producciones personales y luego, sistemáticamente, se los retoma individualmente. Todo esto apunta a implicar en forma personal a los alumnos, pero siguiendo un esquema construido con anterioridad.

razonamiento guiado interactivo

El núcleo del dispositivo es la busca de un conflicto sociocognitivo, en la medida en que este permite contradecir de manera no dogmática las concepciones primarias de los alumnos. Puede esquematizarse del modo siguiente:

el conflicto sociocognitivo esperado

- hacer que los alumnos manifiesten sus representaciones;
- poner a prueba tales representaciones, pidiendo a los alumnos que imaginen experiencias;

- desestabilizar tales representaciones provocando conflictos sociocognitivos en una situación de resolución de un problema;
- elaborar una representación alternativa más satisfactoria en el plano científico;
- finalmente, hacer que los alumnos identifiquen el obstáculo comparando las respuestas iniciales y las respuestas finales.

- ***"Lavoisier, Van Helmont, Berthelot"***

a) Descripción de la secuencia (clase de Segundo)

Este dispositivo es relativamente breve (dos sesiones) y se sitúa al final de Segundo. La secuencia apunta a que los alumnos identifiquen un obstáculo como tal mediante actividades de determinación de los errores en diversos textos, particularmente en textos históricos. Es necesario destacar el carácter a posteriori de esta identificación que se hace después que los conceptos que se quiere inculcar han sido empleados a lo largo del año.

el obstáculo a fin de año

¡Corregir a Lavoisier!

Primero se invita individualmente a los alumnos a señalar errores en una serie de formulaciones aportadas por otra clase, en las que el obstáculo se manifiesta más o menos netamente. Luego se les propone un texto de Lavoisier, en el cual no se distingue de manera estable el cuerpo simple y el elemento y en el que se emplean, según las situaciones, términos diferentes como equivalentes del concepto actual de elemento. Se invita a los alumnos a *corregir la copia de Lavoisier* en función de los conocimientos actuales de química que ellos poseen y a traducir el texto aplicando el vocabulario actual. Se les llama la atención sobre el hecho de que ciertos términos como *oxígeno* presentan una ambigüedad entre la designación del cuerpo simple *dioxígeno* y el *elemento oxígeno*. Apelando a su condiciones de "buenos correctores" se les pide que eviten esas expresiones y utilicen otras que no presenten ambigüedad.

corregir la copia de Lavoisier

Luego, se divide la clase en dos y a cada grupo se le ofrece un texto diferente, uno de Van Helmont, el otro de Berthelot. Los alumnos, en equipos de dos, deben identificar los desfases y las ambigüedades en las expresiones de los autores, teniendo en cuenta la interpretación actual de los fenómenos descriptos, tanto en el nivel fenomenológico (referencia al cuerpo simple) como en el nivel que se emplea como modelo (referencia al elemento).

"El efecto espejo"

La última fase del trabajo tiene el propósito de hacer cobrar conciencia a los alumnos, mediante el "efecto de espejo", de que los obstáculos de carácter histórico se asemejan —en parte— a los que ellos mismos suelen encontrar. Se los invita, pues, a que retomen individualmente las formulaciones de alumnos a los que ellos habían "corregido" al comienzo y a rever sus correcciones una vez que se ha determinado el obstáculo. Con esto se logra al mismo tiempo fortalecer la desdramatización de sus propios errores (otros cometieron errores semejantes) e identificar los errores por clases antes que por error único.

desdramatizar sus errores

b) Los obstáculos en juego

Se trata de trabajar el obstáculo, central en química, que hace que se confundan el cuerpo simple y el elemento, obstáculo asociado a lo que se ha llamado el *modelo Velcro* de la reacción química. Haciendo alusión al modo de enganche entre partículas, puede enunciarse, en el modelo del registro particular, de la manera siguiente:

el "modelo Velcro"

Las moléculas de los cuerpos simples, cuya unión constituye las moléculas de los productos iniciales de una reacción, se separan unas de otras en el transcurso de esta reacción. Para formar las moléculas de los productos finales, se yuxtaponen de otro modo.

O bien, en un registro más fenomenológico:

La reacción química es una separación de cuerpos compuestos en cuerpos simples y una reunificación de esos cuerpos simples que forman cuerpos compuestos nuevos (los cuerpos compuestos se consideran compuestos por cuerpos simples).

Este tipo de concepción supone que las partículas "elementales" son de la misma naturaleza que los cuerpos conocidos en su aspecto fenomenológico: por lo tanto el elemento y el cuerpo simple se confunden. Esto manifiesta una dificultad para distinguir el plano del modelo y el plano del fenómeno y una tendencia a sobrevalorar las conservaciones de lo que se conoce en el plano perceptible (los cuerpos simples).

Trabajar con textos históricos permite que los alumnos distingan diversos grados dentro de la confusión:

- en Van Helmont, los cuerpos compuestos se conservan como tales durante la combustión;
- en Lavoisier, por una fluctuación del vocabulario, cuerpo simple y elemento parecen a veces indistintos.
- en Berthelot el lenguaje empleado no permite distinguir el nivel de manipulación (referencia al cuerpo simple, cuerpo en presencia del cual se desencadena la reacción) del nivel interpretativo (referencia al elemento, a lo que constituye un cuerpo compuesto ya formado).

c) La estrategia didáctica

Las características de este segundo dispositivo son las siguientes:

- El obstáculo se trabaja mediante la búsqueda de disonancias entre textos históricos y los conocimientos actuales. Como el docente indica el obstáculo, los alumnos no tienen que formularlo por sí mismos, sino que deben hallar sus manifestaciones en los textos que se les ofrecen.
- El trabajo del obstáculo pasa por una revisión conceptual *a posteriori* y apunta a que los alumnos identifiquen los obstáculos que ya "experimentaron" en el transcurso del año.

- Situar a los alumnos en una posición de correctores de los hombres de ciencia es un modo de utilizar de manera lúdica la historia de las ciencias con el objeto de desdramatizar los errores. ¡Cometer los mismos errores que Lavoisier es bastante halagador!
- Lo que se pretende es que los alumnos cobren conciencia de que los errores y las aproximaciones forman parte de todo aprendizaje y esto se logra mediante el *efecto espejo* entre errores históricos y errores escolares.

- ***"El aire en la escuela primaria"***

a) Descripción de la secuencia (nivel CM2)

La actividad comienza como una intriga porque se les pide a los alumnos que traigan a clase algún gas... o al menos los medios de obtenerlo. Los niños aparecen con numerosos objetos e ideas, pero evidentemente ¡nunca se trata de aire! Después de esta introducción, se les propone una serie de actividades sin que ellos perciban necesariamente de entrada los vínculos didácticos que tienen entre sí. Seguidamente presentamos un resumen de esas actividades diversas (Plé, 1997).

¡traer aire a la clase!

El agua, ¿sube en un vaso vacío?

En un recipiente lleno de agua se sumerge, sosteniéndolo bien verticalmente, un vaso vacío invertido, en el fondo del cual se ha pegado un terrón de azúcar. Se les pide a los alumnos que prevean lo que ocurrirá: el agua, ¿subirá hasta lo alto del vaso y disolverá el terrón? Realizar esta manipulación provoca discusiones y desacuerdos: algunos alumnos declaran ver que el agua sube hasta arriba, otros reconocen que el terrón no está mojado pero discuten la conclusión según la cual el agua no habría subido: *Tal vez el agua sube hasta el borde del terrón de azúcar sin mojarlo.*

subir sin mojar

Y sin embargo, no sube

Los alumnos deben ahora afrontar el desafío de encontrar por sí mismos experiencias probatorias que hagan percibir mejor lo que no se advertía bien en la primera. Se realizaron varios experimentos con agua coloreada, con un corcho flotante, con un trozo de tela que ocupaba el espacio interior del vaso... Para sorpresa de los alumnos, todos chocan con sus previsiones.

Hacer subir el agua... de todos modos

Se les pide entonces que encuentren, en grupos, la manera de hacer entrar agua en el vaso. Una de las proposiciones, que consistía en hacer un agujero en la parte sumergida del vaso, provoca una viva reacción: *Eso no va a funcionar, el agua no podrá entrar por allí.* Están dispuestos a hacer agujeros para que entre el agua... ¡pero no para dejar salir el aire! Para admitir esto último les hace falta inclinarse sobre el cubilete y sentir físicamente el aire en la mejilla.

El "cañón de patatas"

Se presenta un tubo transparente, cerrado en ambos extremos por un tapón de patata y los alumnos deben prever por escrito qué sucederá cuando se ejerza un empuje sobre uno de los dos tapones. Las previsiones son bastante coincidentes. La propulsión de los tapones evidentemente regocija a la clase, pero algunos "cañones" no funcionan y se invita a los alumnos a que descubran el fallo. :*hay pérdidas en el tapón, o un agujero en el tubo.* Uno de los alumnos se opone a estas interpretaciones y se sorprende de que el aire salga del tubo hacia la clase y no en sentido contrario.

previsiones compartidas

¡El aire pesa!

A la pregunta que se formula ahora: *El aire, ¿pesa?* sólo dos alumnos responden afirmativamente. La verificación experimental no se discutirá, pero producirá una gran sorpresa: *Pero entonces, uno tiene un peso sobre los hombros; Es raro que uno*

no lo sienta cuando se mueve o, lo que es más importante: *Sí, pero ¿qué es el aire?* Este será el momento elegido para introducir la idea de que el aire es materia y para reestructurar todo lo aprendido yendo más allá de lo anecdótico y emocional que hayan podido tener las experiencias anteriores.

¿qué es el aire?

b) Los obstáculos en juego

Este conjunto de actividades, escalonadas en varias sesiones, gira evidentemente alrededor del obstáculo que nos impide considerar fácilmente el aire como materia. Otro obstáculo, diferente, aunque con frecuencia ligado a este (evocado al comienzo de la secuencia, pero rápidamente dejado de lado), consiste en no considerar el aire como un gas. En efecto, los gases en general no necesariamente se consideran como materia, pero al menos son *algo* —a menudo visto como peligroso o "químico"—, en cambio el aire se entiende como sinónimo de vida. No es *nada*, sobre todo cuando no está en movimiento. El origen de este obstáculo reside en el carácter no perceptible del aire y de los gases, lo cual lleva regularmente a olvidarlos cuando se trata de comprender e interpretar diversos fenómenos. Es un obstáculo muy resistente, vinculado con el pensamiento infantil, como lo mostró Piaget, pero que lo sobrepasa ampliamente puesto que la historia de las ciencias muestra muchas apariciones de este obstáculo entre los científicos y seguramente la más célebre es la experiencia de J.-B. van Helmont, ya analizada en Campestrini (1992).

nada, algo

Las fases sucesivas de esta secuencia muestran que no basta con tomar conciencia de la existencia del aire, aun cuando uno haya sentido los efectos perceptibles contra la mejilla, para captar sus características y comprender su naturaleza. Los alumnos vuelven a toparse con él en cada consecuencia nueva, como al descubrir la capacidad del aire para empujar materia sólida ("el cañón de patatas") y, a fortiori, su carácter pesado. Las últimas interrogaciones dubitativas en este tema, muestran, por lo demás, que el obstáculo ¡continúa constituyendo un obstáculo! Superarlo realmente implicaría una gran cantidad de reorganizaciones

el aire pesa

cognitivas que todavía no se han concluido en el nivel terciario (Séré, 1982).

c) La estrategia didáctica

Aquí un obstáculo conduce directamente las actividades, pues la estrategia consiste en multiplicar los ángulos para atacarlo mejor y en tratar de desarrollar conflictos sociocognitivos. Sin embargo, no se pretende crear situaciones "cruciales" con la intención de extraer de manera casi quirúrgica el obstáculo. En cada ocasión uno produce, más bien, una desestabilización (que se sabe parcial y provisoria) y el cuestionamiento se desplaza. Además, no todas las actividades juegan en el mismo plano. Con el "cañón de patatas" y después con los "molinillos" se identifican atributos del aire ya admitidos en el caso de los ejemplares más paradigmáticos de materia (sólidos y líquidos). Pero no se comienza por allí, porque la experiencia del "vaso vacío" juega primero en el plano de la imaginación, al ofrecer imágenes fuertes del aire, capaz de oponerse al agua. En cuanto al peso del aire, es algo que proporciona un argumento de orden lógico, pero que sólo se introduce después de una seria desestabilización obtenida por otros medios. En su conjunto, la secuencia se apoya en imágenes fuertes y paradójicas que dan sentido a los razonamientos e introducen una dimensión lúdica y hasta recreativa.

imágenes fuertes

Desde la primera actividad, que consiste en presentar a los alumnos el desafío de verificar su idea mediante una "prueba" experimental, comienza el proceso de transmisión, por el cual el problema que correspondía al maestro se transforma en un asunto de la clase. El rol del docente continúa siendo fundamental, particularmente porque con frecuencia incita al error, pero sabe que ninguna construcción intelectual tiene valor si no ha sido elaborada verdaderamente por los alumnos.

prueba o transmisión

- ***"Crecimiento vegetal, moléculas, átomos..."***

a) Descripción de la secuencia (clase de Segundo)

Se trata del primer ensayo de una secuencia de biología, concebida como tarea interdisciplinaria en combinación con el estudio de físico-química (Monchamp, 1997). El profesor pide a los alumnos que redacten regularmente de manera individual y les anuncia que no serán juzgados ya que el objeto del trabajo es comprender sus errores y dificultades.

carácter interdisciplinario

Problema principal y problemas derivados

Primero se les pide a los alumnos que escriban individualmente, en una hoja que será recogida cuanto termine la sesión, cómo imaginan el crecimiento de una planta. La consigna es no comunicarse en esta primera etapa con los compañeros, ya que es algo que harán luego. Después se les plantea una cadena de tres problemas que están relacionados con la ficción de la preparación de una cápsula espacial.

Problema (a): En un recinto cerrado transparente se coloca una planta con los elementos que necesita para vivir (agua, abono, aire). Se comprueba que el crecimiento de la planta se detiene.
Problema (b): En el mismo recinto se coloca esta vez a un cosmonauta con aire y alimentos. Desgraciadamente, ¡el hombre muere!
Problema (c): En el mismo recinto se colocan esta vez una planta y el cosmonauta. Ahora se comprueba que el cosmonauta sobrevive y que la planta continúa creciendo.

Se invita a los alumnos a que traten sucesivamente estos problemas (de modo que al tercero se le agregan los datos de los dos primeros) y que propongan una explicación escrita individual para cada caso. Se dan situaciones diversas en las que los alumnos, alternativamente, tratan de ponerse de acuerdo manteniendo intercambios en pequeños grupos, reescriben personalmente sus conclusiones modificando, si es ne-

cesario, sus ideas previas y elaboran puntos de vista comunes con la ayuda del docente quien confecciona un cuadro con las ideas aportadas. La discusión gira particularmente alrededor del hecho de saber si la asfixia del cosmonauta obedece al exceso de CO_2 o a la falta de O_2. Una última consigna invita a volver al problema principal y a la redacción individual referente al crecimiento de la planta, a fin de modificar la formulación a la luz de lo aprendido en las fases intermedias.

la supervivencia del cosmonauta

De la biología a la físico-química

Antes de esto, a través de una situación dialogada, se recuerdan algunas nociones estudiadas en la clase de físico-química, sobre los átomos y las moléculas, moléculas que en el ser vivo pueden ser muy complejas. Se plantea la cuestión de saber si estas nociones pueden constituir un elemento de comprensión del crecimiento de las plantas. Como en la etapa anterior, se elaboran puntos de vista comunes que permiten expresar el resultado de las discusiones, grupo por grupo. Se le entrega entonces a cada alumno un documento que representa un modelo de molécula de celulosa (fórmula plana). Invitados a observar y describir esta fórmula, los alumnos determinan la existencia de oxígeno, de hidrógeno y de carbono, así como la de un motivo hexagonal regular. La consigna es buscar cuáles son los vínculos que pueden existir entre la discusión sobre los problemas "planta/cosmonauta" y la estructura de la celulosa. Un alumno propone que los átomos de CO_2 del aire pueden incorporarse en esta cadena y agrandarla; el profesor pregunta si esto es posible, *considerando los conocimientos de química que tienen los alumnos.*

retorno a la química

CO2 y celulosa

Como la clase no sabe qué responder, él propone aplicar el "esquema de Lewis" a la molécula de CO_2. Esta propuesta constituye un disparador para muchos alumnos que exclaman *Ah, ¡sí!* y vuelven a sumergirse en su curso de química anterior. Recuerdan el número de electrones de los elementos O y C y el de las capas externas, la tabla de Mendeleiev, etc. El

profesor escribe en la pizarra la fórmula de CO_2 con las uniones covalentes, haciéndola evolucionar al ritmo de la discusión y luego escribe una parte de la fórmula de la celulosa. Pide a los alumnos que encuentren en ella el carbono y los dos oxígenos de un CO_2, con el número requerido de uniones covalentes. Se realiza la verificación punto por punto en la secuencia de la fórmula de celulosa escrita en la pizarra. Después de una fase dialogada en la que se habla de rupturas de uniones y de los reacomodamientos necesarios para que una molécula de CO_2 pueda dar celulosa, el profesor da una nueva consigna: redactar un texto individual sobre la siguiente pregunta: *¿Cómo concebir que el dióxido de carbono pueda asociarse a una molécula de celulosa?*

el esquema de Lewis

b) Los obstáculos en juego

Como en la primera secuencia, uno de los obstáculos es la relación que mantienen los gases absorbidos y emitidos por los seres vivos con la nutrición. El obstáculo se aproxima además al de la secuencia anterior realizada en la escuela primaria, destinada a tomar en consideración los gases. Evidentemente, en este caso se trata de un proceso mucho más refinado que en el CM, puesto que ya no estamos ante un "olvido" debido al carácter imperceptible de los gases, sino ante la dificultad para considerarlos un alimento posible. Tanto más por cuanto este obstáculo se combina con otro de carácter vistalista (según el cual la materia de los seres vivos sería de una naturaleza diferente de la de aquello que carece de vida), obstáculo reforzado por la habitual enseñanza compartimentada de las disciplinas.

obstáculo vitalista

Lo que se intenta precisamente es que a los alumnos les resulte concebible el hecho de que el CO_2 sea la fuente de carbono de las plantas verdes y que esto es posible porque, durante la fotosíntesis, su molécula puede integrarse a la cadena carbónica de las moléculas del vegetal (celulosa).

c) La estrategia didáctica

La actividad se inicia, al igual que en la escuela primaria, con problemas de apariencia lúdica (la planta y el astronau-

ta), pero en este caso los resortes son muy diferentes. En efecto, ya no se trata de realizar experimentos ni manipulaciones que deben dar un resultado positivo, sino que estamos ante simples "juegos lógicos" que ponen a prueba las capacidades deductivas de los alumnos, colocados en situaciones de interacción cambiantes (escritura individual, trabajo en grupo, síntesis colectiva).

interacciones cambiantes

Otro recurso, ausente de los dispositivos anteriores, es el del enfoque interdisciplinario pues, partiendo de la biología, se llega a manipular los conocimientos previos de química orgánica a fin de reutilizarlos en un contexto nuevo. Esta complementariedad de disciplinas parece cumplir dos funciones principales.

- La primera es hacer que saberes químicos aprendidos antes por esos mismos alumnos sean aplicables en otra disciplina. Esto se advierte cuando el profesor hace referencia al modelo de Lewis y los alumnos, un poco sorprendidos, lanzan un *Ah, ¡sí!* y vuelven a sumergirse en su curso de química.
- La segunda función es que los saberes químicos hagan concebible la nutrición carbonada de las plantas verdes, siempre un poco "mágica"... y no sólo para los alumnos. En efecto, ¿cómo es posible que el CO_2 participe del crecimiento de la planta? El paso de lo macroscópico a lo microscópico y, sobre todo, la "forma buena" que constituye la fórmula desarrollada de la celulosa, permiten "leer" en ella la inserción posible de una molécula de CO_2. Esta idea se hace concebible en virtud de la figuración previa.

hacer concebible la nutrición carbonada

- ***Comparación y extensión***

a) Comparación sinóptica de las estrategias descriptas

Como el lector habrá comprendido ya, los ejemplos de secuencias descriptos no constituyen en modo alguno "modelos" validados por la investigación y presentados aquí como soluciones didácticas al trabajo de los obstáculos. Antes bien, se

trata de algunos ejemplos contrastados de lo que los docentes asociados a la investigación lograron imaginar, poner por obra, analizar y discutir colectivamente. Son pues resultados que se sitúan principalmente en el plano de la determinación de lo "posible" y que por lo tanto debe entenderse en un paradigma a la vez de la praxis y de la hermenéutica (Astolfi, 1993). Asimismo, deben analizarse en relación con la formación de los profesores (véase el cuadro sinóptico en la página siguiente).

la determinación de lo posible

b) Diversidad de las dimensiones de análisis

Las realizaciones obtenidas en el marco de la investigación son en realidad mucho más diversificadas de lo que pudo mostrarse mediante los ejemplos que acabamos de dar y, para completar este punto, podemos enumerar sus múltiples dimensiones.

Obstáculo puntual o red de obstáculos

Ciertas secuencias se focalizan en una sola idea-obstáculo, en tanto que otras procuran trabajar el conjunto de un nudo de obstáculos. También es posible buscar soluciones intermedias, orientadas principalmente hacia un obstáculo, pero atentas, aunque sólo sea discretamente, a la red de ideas asociadas.

Extensión de las secuencias

Coincidiendo parcialmente con las distinciones precedentes, es posible hacer una distinción entre secuencias breves, orientadas hacia un obstáculo definido, que procuran hacer evolucionar en el corto plazo (sin desestimar por ello su posible retorno) y secuencias largas, que incluyen verdaderas "series", a lo largo de las cuales el trabajo de los obstáculos sirve de referencia y de punto de apoyo para las intervenciones del docente. Ciertos ensayos consistieron también en identificar el retorno de los mismos obstáculos, en cantidad limitada, a través de la sucesión de los capítulos de un programa.

Desdramatizar el error y hasta... esperarlo

Trabajar los obstáculos supone un cambio en el clima de la clase y en el contrato didáctico. En efecto, es necesario que aflore, sin demasiado riesgo, lo que normalmente permanece oculto gracias a los recursos del "oficio de alumno", de lo contrario se corre el peligro de que el proceso se repita. Se han desarrollado varias modalidades destinadas a interrumpir la evaluación, a hacer "fracasar" voluntariamente a los alumnos con la finalidad de fortalecer su vigilancia ulterior.

> "hacer fracasar" a los alumnos para aumentar su vigilancia

Y también para transformarlos en "correctores de los hombres de ciencia" —con la valorización que esto implica— al hacerles reescribir, por ejemplo, un texto de Lavoisier en el cual el empleo de los términos molécula, átomo o elemento no aparecen tan estabilizados como lo están hoy.

Comparación sinóptica de las cuatro secuencias estudiadas

Nutrición gaseosa y pulpa de tomate (Sexto)	*Lavoisier, van Helmont, Berthelot* (Segundo)
• **Concentración en una red de obstáculos** — *la materia no es gaseosa* *los gases participan de la respiración pero no de la nutrición* *el* CO_2 *es un "desecho" tóxico del organismo*	• **Concentración en un obstáculo** — *el "modelo Velcro": la unión química vista como un enganche adhesivo entre partículas (confusión entre cuerpo simple y elemento)*
• **Un conjunto de secuencias articuladas** • **Lógica de progresión mediante razonamiento interactivo** — desestabilización	• **Dos sesiones a fin de año** • **Lógica de la historia de las ciencias como espejo de obstáculos** — retorno retrospectivo sobre obstáculos ya

mediante contradicciones lógicas — razonamiento progresivo — confrontaciones entre alumnos y con documentos que cumplen la función de autoridad	experimentados — recorrido lúdico por la historia de las ciencias — desdramatización de los errores (que también cometen los hombres de ciencia)
El aire en la escuela primaria (CM2) — **Concentración en un obstáculo** — *el aire no es materia*	***Crecimiento vegetal, moléculas, átomos*** (Segundo) • **Concentración en un obstáculo doble** — *el* CO_2 *gaseoso no puede ser fuente de carbono para las plantas verdes* — *porque no está "vivo"* — *a causa de su naturaleza gaseosa*
• **Una larga serie de sesiones** • **Lógica de flashes y controversias** — efectos de sorpresa y de desafío — ángulos de ataque múltiples — adaptación de la progresión a las reacciones de los alumnos — dimensión lúdica y recreativa — imágenes fuertes	• **Una sesión interdisciplinaria** • **Lógica de lo plausible con apoyo visual** — transferencia operativa de conocimientos (recurrir a los saberes químicos) — trabajo sobre lo plausible antes que sobre la validación — apoyo en la visualización (empleo de las fórmulas desarrolladas)

Diversificar el orden de las fases del trabajo de obstáculos

Si bien la sucesión lógica parecería poder enumerarse del modo siguiente: *desestabilización de las ideas iniciales, construcción de una alternativa, determinación de lo que constituye un obstáculo, toma de conciencia e identificación*, nada per-

mite afirmar que ésta sea la progresión necesaria. En los ensayos también se aplicó este tipo de variación, puesto que el punto de partida cronológico bien puede ser la construcción de un modelo alternativo (a partir del cual se vuelven a trabajar las concepciones iniciales de los alumnos), e incluso el fortalecimiento transitorio y "calculado" de una representación (a fin de destacar mejor los dos términos del conflicto cognitivo). También pueden desarrollarse funciones originales y que resultan atrayentes para ciertos alumnos, por ejemplo, asignarles a algunos de ellos la tarea de "vigilantes de los obstáculos" que surjan en clase; ellos serán desde entonces los encargados de estar atentos y señalar las "recaídas" individuales o colectivas.

vigilantes de obstáculos

Extender la contraargumentación lógica

El arquetipo del trabajo eficaz del obstáculo parecería ser encontrar y desarrollar una objeción irreprochable que obligaría a los alumnos a ceder y a "deponer las armas" . Pero esto implica olvidar que la lógica no lo es todo en el proceso de comprensión y que un sujeto dispone de muchos medios para ignorar lo que el docente juzga una contradicción ineludible, restarle importancia o soslayarla. El funcionamiento de la devolución, aplicada de distintas maneras en los ejemplos presentados, es esencial para que los alumnos no acepten las objeciones superficialmente, "de labios para afuera", sin una real participación y una verdadera movilización cognitiva. Además, la argumentación no siempre implica persuasión ni íntima convicción, por lo tanto es necesario que el sistema conceptual de sustitución no sólo sea comprendido en sus "pasos de razonamiento", sino también concebido e imaginado mentalmente. Las imágenes fuertes, las experiencias vividas, las emociones controladas, tienen a veces tanta importancia como los aspectos demostrativos limitados a la esfera cognitiva.

funcionamiento de la devolución

Variaciones en el ritmo y las etapas

Si bien la progresividad parecería ser a menudo una virtud esencial de la enseñanza y suele traducirse en la búsqueda de

una guía "paso a paso" (que sin duda asimila demasiado la intención retórica de explicación a las posibilidades cognitivas de apropiación), también hay otras estrategias que pueden jugar eficazmente con los impactos, los "ataques" desde ángulos múltiples, las interrupciones bruscas de un tema que luego se retoma, los desfases y abandonos provisorios, el retorno sorpresivo, etcétera.

más allá del "paso a paso"

En suma, la lista es larga, de modo que más que clasificar las técnicas pedagógicas del trabajo de obstáculos, en la segunda parte propondremos analizar brevemente los ingredientes potenciales que cada docente puede recombinar de manera casi infinita en función del contenido conceptual, del nivel del curso, de la diversidad de la clase... pero también en función de su ecuación personal y de su modelo pedagógico.

ingredientes potenciales

2. El trabajo de los obstáculos: principios dinámicos

Con este espíritu presentaremos seguidamente, en forma de cuadros, un "mapa de los posibles", construido con diferentes "ingredientes" extraídos de las experimentaciones presentadas antes y de muchas otras de las que resulta imposible dar cuenta aquí, ingredientes a los cuales el docente puede remitirse o utilizar como palanca para trabajar de otras maneras y eficazmente los obstáculos. Este mapa debe interpretarse como una especie de "caja de herramientas" que contiene los dispositivos disponibles, como una fuente de ideas diversificadas que no tiene una pretensión normativa.

una "caja de herramientas"

2.1. Tres aspectos de los dispositivos

- ***Desestabilización, construcción, identificación***

En estos cuadros se distinguen tres aspectos, ya mencionados antes, de los dispositivos, según los objetivos a los que apuntan:

- la desestabilización de un obstáculo;
- la construcción (o reconstrucción) conceptual;
- la identificación del obstáculo.

La hipótesis de la existencia de un paralelismo entre los procesos intelectuales referentes a la construcción conceptual y aquellos que permiten superar los obstáculos llevó a proponer tres subtemas paralelos dentro de cada uno de esos aspectos:

tres subtemas

1) los primeros se refieren a los procesos de ***toma de conciencia***, de validación o de comprensión.
2) los segundos corresponden a los procesos que ***hacen "concebibles"*** las nuevas construcciones, que favorecen su reevocación en situaciones nuevas, particularmente en lo referente al empleo de imágenes mentales, de metáforas y de símbolos (el carácter "concebible" de la construcción corresponde a la manera como uno logra imaginarla; se opone a la busca de una prueba, en el plano lógico, de la "verdad" o la "falsedad" de la construcción);
3) los terceros corresponden a los procesos que ***instalan*** estas nuevas elaboraciones dentro de una red más diversificada que permite emplearlas luego de manera más ***habitual***, es decir, que transforma los "objetos" en "herramientas". Por definición, estas terceras series corresponden a un proceso de más largo plazo que las dos precedentes y se extienden más allá del marco circunscripto de esa secuencia de trabajo singular dedicada al trabajo de los obstáculos.

- **Principios y modalidades**

En estos cuadros se puede hacer otra distinción entre "principios dinámicos" y "dispositivos didácticos":

principios y dispositivos

- una pequeña cantidad de **principios dinámicos** corresponde a los procesos intelectuales que se pretende desencadenar o provocar en los alumnos;
- los **dispositivos didácticos** destinados a favorecer tales procesos aparecen en listas más extensas. Estas son

sólo indicativas y pueden completarse o modificarse, ya que un mismo dispositivo puede resultar apto para estimular paralelamente procesos intelectuales de diversos órdenes.

DESESTABILIZACIÓN DEL OBSTÁCULO	
PRINCIPIOS DINÁMICOS	**ELEMENTOS DE DISPOSITIVOS**
(1) ***Fortalecer transitoriamente el obstáculo***	• Constituir grupos de opiniones convergentes
(2) ***Identificar y manifestar explícitamente sus representaciones***	• Hacer escribir las ideas de los alumnos • Pedir que expresen y justifiquen lo que prevén • Hacer construir maquetas o modelos analógicos
(3) ***Tomar conciencia de las discordancias o las disonancias***	• Introducir datos heterogéneos generados en otras clases • Presentar un modelo en ruptura con las ideas expresadas anteriormente • Introducir un texto histórico sorprendente • Proponer una experiencia sorprendente • Desarrollar juegos de roles, en los que cada alumnos dé argumentos a favor de un punto de vista diferente del suyo propio • Constituir diversos grupos cada uno de los cuales dispondrá de materiales diferentes y asignarles una tarea que exija la cooperación mutua. • Hacer un "panel" de representantes de los grupos de opiniones convergentes • Constituir grupos divergentes después de haber constituido grupos convergentes

CONSTRUCCIÓN (O RECONSTRUCCIÓN) CONCEPTUAL	
PRINCIPIOS DINÁMICOS	**ELEMENTOS DE DISPOSITIVOS**
(1) ***Fundamentar la validez de la construcción conceptual*** (2) ***Hacer concebible la construcción conceptual***	• Relacionar entre sí diversos resultados experimentales • Dar validez a una idea mediante una experiencia "crucial" que apunte a establecer la prueba • Hacer que los alumnos relacionen diversos elementos en cierta "forma", proporcionada por el docente o que ellos mismos deben hallar (para poder comunicársela a otros) • Hacer elaborar uno o varios modelos y emplearlos sistemáticamente • Hacer construir un esquema de síntesis • Emplear explícitamente metáforas y analogías mediante la comparación término a término con el concepto
(3) ***Procurar que el nuevo concepto (o modo de pensamiento) esté "cómodamente" disponible*** *(de un modo que se prolongue más allá de la secuencia)*	• Proponer ejercicios variados que movilicen el concepto que se procura poner a disposición de los alumnos • Variar las formulaciones y codificaciones simbólicas • Multiplicar las actividades en las que es necesario seleccionar un modelo apropiado • Retomar, después de cierto tiempo, un ejercicio ya realizado u otro semejante • Resolver un problema que requiera incluir "en el desorden" nociones estudiadas • Utilizar el concepto para comprender una situación "fuera del laboratorio" • Pedir que los alumnos expliquen a otros (o escriban para otros) lo que comprendieron • Pedirles que prevean lo que ha de suceder empleando el nuevo modo de pensar • Variar las formulaciones cambiando los niveles de análisis

IDENTIFICACIÓN DEL OBSTÁCULO	
PRINCIPIOS DINÁMICOS	**ELEMENTOS DE DISPOSITIVOS**
(1) ***Dar forma explícita al obstáculo y poder nombrarlo***	• Analizar "textos con errores", con la consigna de identificar en ellos un obstáculo • Procurar que los alumnos relacionen la producción del momento con otros elementos, a fin de que tomen conciencia del carácter "transversal" del obstáculo:
	• texto histórico • producciones de otros alumnos • producciones anteriores sobre el mismo trabajo • producciones relativas a otras nociones • Hacer reflexionar sobre el "por qué" del dispositivo propuesto a la clase • Hacer reconstruir un razonamiento que condujo a un error (juego de rol)
(2) ***Simbolizar el obstáculo*** ! INRA ATENCIÓN TOMATES	• Hacer representar el obstáculo gráficamente o mediante una expresión breve
(3) ***Adquirir la capacidad de reconocer el obstáculo***	• Asignar a algunos alumnos la función de "vigilante de obstáculo" • Hacer "tragar el anzuelo" al otro • Provocar la reaparición del obstáculo en situaciones nuevas • Una vez identificado el obstáculo, asignar al alumno el cargo de corrector

- ***No reificar la herramienta***

El orden propuesto en los cuadros presentados no constituye necesariamente una sucesión cronológica y no habría que reificar una herramienta destinada ante todo a guiar las elecciones didácticas sin imponerlas. Cuando se analiza lo que sucede en una secuencia concreta, los procesos discernidos no

siempre se diferencian en fases cronológicamente separadas. Y cuando es factible hacer esa distinción, el orden puede ser diferente. Así, por ejemplo:

una secuencia concreta

- no es necesario que en cada secuencia se den todas las fases;
- las fases pueden estar separadas en el tiempo;
- puede haber varias fases de fisura;
- una fase de fisura puede incluir un comienzo de construcción;
- una fase de identificación puede comenzarse, abandonarse y retomarse ulteriormente de manera "desfasada", para permitir un ataque más transversal del obstáculo.

En resumen, estos cuadros están destinados a evitar dos escollos simétricos: confundir procesos diferentes que en realidad obedecen a lógicas distintas o transformar en fases rígidas y repetitivas lo que sólo ha sido separado a los efectos de afinar los análisis.

dos escollos simétricos

2.2. El cuarto esquema

Las modalidades anteriores constituyen, pues, referencias e indicadores que permiten construir, en todos los detalles de su elaboración, secuencias didácticas que se concentran mejor en el trabajo de los obstáculos. Pero hay otras modalidades que corresponden a un marco más global que el conjunto de la secuencia y abarcan también el de la organización de las secuencias científicas a lo largo del año escolar; estas modalidades pueden dar a cada uno de los elementos de dispositivos presentados un "matiz" particular. Por esa razón, agregamos seguidamente un cuarto esquema que juega con escalas temporales más amplias. Ciertos dispositivos, aparentemente circunscriptos al lapso de una actividad puntual, pueden adquirir una significación particular en función del "clima" general de la clase, del hábito didáctico en vigor, de la manera como tales dispositivos se integran en un problema científico que la clase se esfuerza por resolver, del compromiso afectivo que adoptan los alumnos en la búsqueda de soluciones, etcétera.

una perspectiva temporal más amplia

ASPECTOS GLOBALES DE LAS ACTIVIDADES	
PRINCIPIOS DINÁMICOS	**ELEMENTOS DE DISPOSITIVOS**
• **Correspondientes al marco general de una secuencia**	
Integrar la actividad en el seno de la resolución de un problema	• Vincular estrechamente el trabajo con cuestiones relacionadas con la actividad cotidiana, la actualidad, la historia de las ciencias • Realizar balances periódicos, a fin de que los alumnos puedan apreciar sus propios progresos
Tratar de obtener una "devolución" del problema	• Tomar seriamente todas las respuestas (o ideas) dando valor incluso a aquellas que el docente reconoce como falsas • Implicar a los alumnos (individualmente o por grupos) haciendo que tomen una posición y haciéndoles vislumbrar resultados que despierten su interés • Ajustar la progresión de la secuencia al punto en que realmente se encuentra la clase, a los problemas que la clase está afrontando, para obtener una mayor adhesión individual
• **Correspondiente al marco anual de la enseñanza científica**	
Hacer que la clase funcionen a la manera de los "debates científicos"	• Desarrollar la idea del "derecho a equivocarse" ante las proposiciones e intervenciones de los alumnos • Incitar a los alumnos a que se dirijan a sus compañeros y no solamente al docente
Desarrollar la cooperación en el seno del grupo, como condición para que los alumnos se animen a "correr el riesgo"	• Dar seguridad, ofrecer libertad de palabra • Dejar en claro cuáles son los tiempos que corresponden al aprendizaje y cuáles los que corresponden a la evaluación

Las actividades didácticas relativas al trabajo de los obstáculos no son independientes de tales elementos. Suponen aplicar cierto modelo pedagógico que bien puede calificarse de constructivista. Sin embargo, lejos de ser un predecesor de la aplicación de los dispositivos propuestos, este modelo puede desarrollarse durante las secuencias. El modelo no es pues un requisito previo, antes bien constituye una condición de posibilidad que irá desarrollándose según el contexto de aplicación.

requisito previo o condición de posibilidad

Jean Pierre Astolfi, Universidad de Rouen, Equipo de didáctica de las ciencias experimentales, INRP
Brigitte Peterfalvi, Equipo de didáctica de las ciencias experimentales, INRP

Nota

1. Es evidente que el uso que se hace aquí de la experiencia de Van Helmont se aleja considerablemente de los problemas estudiados por él, que no estaban directamente relacionados con la nutrición de las plantas verdes. De modo que esta secuencia debe entenderse no en una perspectiva del empleo didáctico de la historia de las ciencias, sino como un modo de apoyarse en los resultados "sorprendentes" de una experiencia realizada en el pasado en el campo de la biología.

Referencias bibliográficas

Astolfi, Jean Pierre. 1991. Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences. *Aster* nº 13. París, INRP.
Astolfi, Jean Pierre. 1992. *L'école pour apprendre.* París, ESF.
Astolfi, Jean Pierre. 1993. Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie*, nº 103. París, INRP.
Astolfi, Jean Pierre y Peterfalvi, Brigitte. 1993. Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, nº 16. París, INRP.
Bednarz, Nadine y Garnier, Catherine, dir. 1989. *Construction des savoirs: obstacles et conflits.* Ottawa, Agence d'Arc.
Campestrini, Pierre. 1992. Sortir de la logique de Van Helmont. *Aster*, nº 15. París, INRP.

Fabre, Michel. 1995. *Bachelard éducateur*. París, PUF.
Giordan, André, Girault, Yves y Clément, Pierre, dir. 1994. *Conceptions et connaissances*. Berna, Peter Lang.
Johsua, Samuel y Dupin, Jean-Jacques. 1989. *Représentations et modélisations: le "débat" scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berna, Peter Lang.
Martinand, Jean-Louis. 1986. *Connaître et transformer la matière*. Berta, Peter Lang.
Monchamp, Alain. 1997. Quand les obstaacles ouvrent des persspectives pédagogiques: récit d´un itinéraaire personnel. *Aster*, nº 25: 59-91. París, INRP.
Perrenoud, Philippe. 1994. *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. París, ESF.
Peterfalvi, Brigitte. Activités réflexives d'élèves en classe de sciences: des compétences méthodologiques au travail sur les obstacles. *Actes des XVIIèmes Journées internationales de Chamonix sur l'éducation scientifique*.
Peterfalvi, Brigitte. 1997. L'identification d'obstacles par les élèves. *Aster*, nº 24. París, INRP.
Piaget, Jean. 1975. *L'équilibration des structures cognitives*. París, PUF.
Plé, Elisabeth. 1997. Transformations de la matière à l'école élémentaire: des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster* nº 24. París, INRP.
Raichvarg, Daniel. 1997. *L'expérimentation scientifique: décoder le réel*, TDC 741. París, CNDP.
Sauvaageot-Skibine, Marie. 1997. Ce que le professeur prévoit, ...ce qui se passe réellement. *Aster*, nº 25: 93-112. París, INRP.
Séré, Marie-Geneviève. 1982. A propos de quelques expériences sur le gaz: étude de schèmes mécaniques mis en oeuvre par des enfants de 11 à 13 ans. *Revue française de pédagogie*, nº 60. París, INRP.
Vérin, Anne y Peterfalvi, Brigitte. Fonctions de l'écriture dans le travail d'obstacles en classe de sciences. *Actes des XVIèmes Journées internationales de Chamonix sur l'éducation scientifique*.